

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ostrava, 2015

Autor: Jan Matyáš

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

**Automatická kontrola integrity obalů transfuzních
přípravků**

**Automatic Integrity Check of Packaging
Transfusion Products**

Ostrava, 2015

Autor: Jan Matyáš

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Matyáš

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3901R039 Biomedicínský technik

Téma:

Automatická kontrola integrity obalů transfuzních přípravků
Automatic Integrity Check of Packaging Transfusion Products

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou transfuzních přípravků a jejich zpracováním.
2. Seznámení se s rozměry a tvary vaků pro transfuzní přípravky a s jejich svary.
3. Seznámení se s optickými metodami pro měření rozměrů a celistvosti objektů.
4. Návrh metody pro měření výstupní kontroly vaků s transfuzními přípravky se zaměřením na kontrolu rozměru vaku a neporušenost obalu (svary, praskliny).
5. Experimentální ověření navržené metody.
6. Vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] OVERFIELD, J., M. DAWSON a D. HAMER. *Transfusion Science*. 2nd ed. Bloxham, Oxfordshire: Scion, 2008. ISBN 978-1904842408.
- [2] TROJAN, Stanislav et al. *Lékařská fyziologie*. 4., přeprac. a uprav vydání. Praha : Grada Publishing, a.s, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
- [3] LEXOVÁ Stanislava et al. *Hematologie pro zdravotní laboranty*. 1.díl. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000, 183 s. ISBN 80-7013-304-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

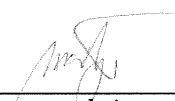


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Ostravě dne 28. 04. 2015



podpis

Poděkování

Především bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Davidu Valovi, za jeho čas a pomoc při řešení. Dále bych rád poděkoval své rodině za její neustálou podporu.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je snaha částečné automatizace současného procesu kontroly obalů transfuzních přípravků za pomoci rozpoznávacího software, navrženého v interaktivním vývojovém prostředí MATLAB. Obrazovými senzory je rozpoznána barva a typ snímaného vaku, který je dále zpracováván segmentačními algoritmy s výstupním stavem a grafickým znázorněním, odpovídajícím jeho kondici. Vak je testovaný na simulované chyby a podmínky snímání za použití algoritmů, využívající barevných modelů RGB, HSV a YCbCr.

Klíčová slova

Strojové vidění; MATLAB; analýza obrazu; transfúzní přípravky; kontrola integrity

Abstract

The main aim of this bachelor thesis is an attempt for a partial automatization of the process of transfusion packages integrity check, using an image analysis software, developed in an interactive development environment MATLAB. Utilizing image sensors, a color and a type of the transfusion package is determined, which is subsequently processed using segmentation algorithms with an output status and graphical representation of its condition. The bag is then tested on various simulated defects and scanning conditions by algorithms, using RGB, HSV and YCbCr color models.

Key words

Machine vision; MATLAB; image processing; transfusion products; integrity check

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	Střídavý proud
A/D	Analogově digitální převodník
ADSOL	Adenin + Glukóza + Sorbitol + Chlorid sodný + manitol
ASCII	Americký standardní kód pro výměnu informací
CCD	Zařízení s vázanými náboji
CMOS	Doplňující se kov-oxid-polovodič
CMYG	Azurová, Magenta, Žlutá, Zelená (barevný filtr)
CMYK	Azurová, Magenta, Žlutá, Černá (barevný model)
COB	Čip na desce
DC	Stejnoseměrný proud
DMSO	Dimethylsulfoxid
FPS	Snímky za sekundu
GUI	Grafické uživatelské prostředí
HSI	Odstín, Saturace, Intenzita (barevný model)
HSL	Odstín, Saturace, Světlost (barevný model)
HSV	Odstín, Nasycení, Hodnota (barevný model)
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
LED	Dioda emitující světlo
VF	Vysokofrekvenční
VGA	Video Graphics Array
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
px	Pixel
RGB	Červená, Zelená, Modrá (barevný model)
Rh	Rhesus faktor
SAG-M	Chlorid sodný + adenin + glukóza + manitol
uint8	Unsigned integer 8 bitů
YCbCr	Jas, červený, modrý chrominanční komponent (barevný model)

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1	Úvod	1
2	Krev	2
2.1	Plasma	2
2.2	Erythrocyty	2
2.3	Leukocyty	3
2.4	Darování krve	4
2.5	Oddělení a příprava krevních složek	5
3	Vaky transfúzních přípravků	6
3.1	Etikety	6
3.2	Výrobní proces	8
3.3	Materiál	9
3.4	Svařování	10
3.5	Stabilizační roztoky	11
4	Analýza digitálního obrazu	12
4.1	Barevné modely v počítačové grafice	12
4.2	Prahování	14
4.3	Binární algoritmy	15
4.4	Detekce hran	16
5	Metody snímání	18
5.1	Optické snímače	18
5.2	Profilové snímače	19
6	Snímání vaků	20
7	Realizace softwaru	24
8	Vyhodnocení výsledků	34
9	Závěr	37
A	Seznam příloh	40

Seznam obrázků

2.1	Znázornění vrstev odstředěné krve	5
3.1	Štítek lidské plasmy pro frakcionaci	6
3.2	Štítek vaku erytrocytů	7
3.3	Výrobní proces vaků	8
3.4	Princip technologie vysokofrekvenčního svařování	10
3.5	Vysokofrekvenční svařování zdravotnických vaků	10
4.1	RGB model	13
4.2	HSV model	14
4.3	Tvoření regionů	15
5.1	Vlevo: CCD, Vpravo: CMOS	18
5.2	Princip profilových snímačů	19
6.1	Přídavná regulace proudu diodou	21
6.2	Výrobek pro podsvícení vaků	22
6.3	Expozice: AUTO x MANUAL (-9)	23
7.1	Grafické uživatelské prostředí	24
7.2	Klasifikace vaku podle barvy	26
7.3	Porovnání histogramů plasmy a krve (HSV, první kanál)	26
7.4	Segmentace oblasti tekutiny	27
7.5	Segmentace etikety	28
7.6	Čtení čárových kódů	29
7.7	Detekce šrámů v obraze	30
7.8	Kontrolování vývodů	31
7.9	Porovnání okrajů	32
7.10	Konečný výstup	33

Seznam tabulek

6.1	Vlastnosti webové kamery Creative Live! Cam Sync HD	23
6.2	Vlastnosti fotoaparátu Xiaomi MI2S	23
8.1	Změna rozměrů vkládaného obrazu	34
8.2	Rotace vkládaného obrazu	34
8.3	Čtení čárového kódu	35
8.4	Simulace chyb ve snímaných vacích	36

1. Úvod

Krevní, a jiné vaky pro transfúzní přípravky, jsou zásadními prostředky pro moderní zdravotní systém. I přes velmi velkou odolnost měkčených PVC materiálů je možné jejich porušení. Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh a provedení prostředku pro automatickou kontrolu rozměrů a celistvosti vaků, používaných ve zdravotnictví. Program, vytvořený ve vývojovém prostředí MATLAB by měl sloužit jako výstupní kontrola před skladováním.

Ve druhé kapitole jsou vysvětleny základní informace ohledně tématu dárčovství krve, následné oddělení a příprava krevních složek, typy používaných transfúzních přípravků a obecné složení krve.

Třetí kapitola se zabývá samotnými transfúzními vaky. Shrnuje požadavky na materiál používaných vaků, zobrazuje výrobní proces a použití stabilizačních roztoků, přibližuje podmínky skladování, popisuje značení vaků krevním centrem a jejich význam a nakonec spojování materiálu pomocí vysokofrekvenčního svařování.

Čtvrtá kapitola popisuje některé z používaných barevných modelů, využívaných obecně ve strojovém vidění a této práci a určité algoritmy pro separaci objektů z pozadí. Prahování, jako jedna z těchto metod je velmi velkou součástí realizace tohoto software. Dále je zde popsáno důležité téma - detekce hran, se zaměřením na operátor Sobel.

Pátá kapitola slouží pro nastínění možností snímání vaků a jejich použití pro splnění zadání bakalářské práce. Pro měření rozměrů se rozhodovalo použití profilových nebo optických snímačů, založených na technologii CCD nebo CMOS. Jsou zde vysvětleny jejich výhody a nevýhody.

V šesté kapitole se nachází řešení otázky osvětlení. Popisuje se zde postup a specifikace výroby přípravku. Sedmá kapitola se věnuje samotné realizaci programu v prostředí MATLAB. Zde je popsáno rozvržení grafických objektů aplikace, funkce jednotlivých funkčních bloků a jejich algoritmů zpracování obrazu.

V poslední kapitole se vyhodnocují výsledky za pomoci graficky upravených obrázků. Vyhodnocuje se náchylnost obrazu na rotaci vaku, na změněné podmínky snímání, a detekci chyb ve spojitosti vaků.

2. Krev

Krev je nereplikovatelná (nenahraditelná) tekutá, viskózní tkáň, sloužící jako transportní médium nezbytných živin a zprostředkovává výměnu plynů mezi celým organismem. Cirkulační systém dodává kyslík a živiny, absorbované gastrointestinálním traktem zpět tkáním, vrací oxid uhličitý do plic a další produkty metabolismu do ledvin. Je součástí funkčního systému regulování tělesné teploty a distribuuje hormony pro regulování činnosti buněk.

Krev, nositel těchto látek, je pumpovaná skrz uzavřený systém krevního řečiště k srdci. Cirkulace je řízená více regulačními systémy, které zajišťují dostatečný tok, pokud možno do všech orgánů, ale především do mozku a srdce. Krev se skládá z nažloutlé tekutiny, zvané plasma, ve které cestují krevní prvky – červené krvinky, bílé krvinky a krevní destičky.

V běžné zdravotnické praxi se vyskytují 4 druhy vaků:

- Jednoduchý vak - slouží k odběru plné krve
- Dvojvak - Odběrový a satelitní vak - využívá se pro přípravu erytrocytového koncentrátu a plasmy
- Trojvak - Odběrový a dva satelitní vaky
- Čtyřvak - Odběrový a tři satelitní vaky - erytrocyty, trombocyty, krevní plasma

Jednotlivé krevní složky se oddělují z hlavního vaku plné krve za pomoci odstředivky (centrifugy) a následného použití tzv. krevního lisu se vytlačí do satelitních vaků.

2.1 Plasma

Plasma je největší část krve, představující 55 % celkového objemu. Při její izolaci má světle žlutou barvu. Hlavní účel plasmy je transport živin, hormonů a proteinů do potřebných částí těla. Buňky také vypouští svůj odpad do plasmy a ta jej vyvede z těla.

Spolu s vodou, solí a enzymy, krevní plasma také obsahuje důležité komponenty, jako například imunoglobiny (protilátky) a proteiny albumin a fibrinogen. Při darování krve, zdravotní pracovníci jsou schopni izolovat tyto ingredience z plasmy a koncentrovat je do různých přípravků. Ty jsou používány jako léčby, které mohou potencionálně pomoci zachránit životy lidí, trpící na popáleniny, šok, trauma a další nálehavé případy. Proteiny a protilátky v plasmě se také využívají pro vytvoření léčby vzácných nemocí, jako například autoimunitní onemocnění, či hemofilie. [12]

2.2 Erytrocyty

Erytrocyty, nebo-li červené krvinky představují největší objem krevních buněk, s rozsahem od 4,5–6 milionů na krychlový milimetr krve. Vykonávají přenos kyslíku a oxidu uhličitého mezi plicemi a tkáněmi. Na efektivní přenos kyslíku musí erytrocyty obsahovat normální hodnoty červeného krevního pigmentu hemoglobinu, který závisí na úrovni železa v těle. Nedostatek železa v krvi vede ke kondici zvané anémie a špatného okysličení tkání.

Červené krvinky se neustále vytvářejí v kostní dřeni z tzv. Hematopoetických kmenových buněk – nediferencované živočišné buňky, které mají schopnost se měnit na jiný buněčný typ. V prenatálním období se erytrocyty tvoří ve slezině. Při jejich dospívání ztrácí jádro, změni se jejich tvar a začínají produkovat hemoglobin. Tělem kolují zhruba 120 dní a ve slezině zanikají. Ačkoliv všechny červené krvinky jsou v podstatě podobné, některé struktury jejich povrchů se liší člověk od člověka. Tyto charakteristiky tvoří základ na klasifikaci na krevní typy. Existují 4 základní krevní typy, jejichž kompatibilita je důležitým posudkem pro úspěšnou krevní transfúzi.

2.3 Leukocyty

Granulocyty

Tvoří se v kostní dřeni a představují asi 70 % všech bílých krvinek. Tento pojem zahrnuje tři různé typy buněk: neutrofilní granulocyty, eosinofilní a basofilní.

Neutrofily jsou nejčetnějším typem bílých krvinek člověka a zvířat. Účastní se akutní fáze zánětu a podílejí se na likvidaci především bakteriálních infekcí.

Eosinofily, jsou jednou součástí imunitního systému v obraně před mnohobuněčnými parazity. Vyvíjejí se během hematopoéze před migrací do krevního řečiště. Jejich počet se násobí v přítomnosti alergenů.

Bazofily, jako nejméně běžné granulocyty, představují množstevně asi 1 % granulocytů a přibližně 0,01–0,3 % bílých krvinek. Při stimulaci vypouští chemikálie, jako například anti-koagulátor heparin nebo vazodilátor histamin, podporující krevní tok tkáním.

Agranulocyty

Zahrnují dvě skupiny :

Monocyty

Jsou největší leukocyty derivovány z fagocytární buněk. Na místě infekce se proměňují na makrofágy – velké fagocytární buňky, které ničí organismy, zanechané za granulocyty a lymfocyty. V určitých dlouhodobých nemocech – tuberkulóza, malárie – monocyty představují hlavní obranu organismu.

Lymfocyty

Normálně tvoří zhruba 20 % až 35 % všech bílých krvinek, ale v případě infekce se rapidně množí.

B lymfocyty

Migrují do pojivové tkáně, kde se přemění na plasmové buňky. Tvoří 70–80 % lymfocytů.

T lymfocyty

Některé ničí buňky přímo, část komunikuje z ostatními imunními buňkami, regulující zásah. Tvoří 20–30 % lymfocytů.

2.4 Darování krve

Pro darování krve se zohledňují občané v rozmezí 18 do 65 let, nad hmotnost 50 kg. Prvodárce nesmí překročit věkovou hranici 60 let. Je vyžadován dlouhodobý pobyt v České Republice, zdravotní způsobilost a dobrá komunikace v českém jazyce.

Pro mužskou populaci je v České Republice možnost bezplatného darování krve pro lékařské účely 4x ročně s minimální prodlevou mezi odběry 10 týdnů. Ženám je povoleno darovat za rok pouze 3x. [2] Zdravým dárčům, splňující stanovené podmínky a správného vyplnění dotazníku o jejich současném zdravotním stavu, případným detailům, ohrožujícím integritu krve, se provede testování malého vzorku. Pro úspěšné dárce samotný odběr krve představuje objem cca 473 ml.

Tento vak je následně odstředěn na její části. Je zde možnost odběru pouze komponentů krve, tento postup je pro některé dárce méně fyzicky náročný, jelikož se tvoří oběh, ve kterém se odfiltrují pouze žádané složky, a zbytek krve se pumpuje zpět. Proces filtrování plasmy, zvaný plazmaferéza je vzhledem k větší časové náročnosti finančně odměněný. Termín mezi odběry je mnohem kratší, typicky je možný jeden odběr plasmy za dva týdny. [4]

Typy transfúzních přípravků

Plná krev

Nezpracovaný vak krve, spojený s konzervačním roztokem. Objemově se vak dostává většinou do 500 ml tekutiny, z toho 473 ml odebrané krve. Ta se dále zpracovává na své základní složky. Skladuje se ne více než 35 dní při teplotě $+4^{\circ}\text{C}$.

Erytromasa

Jedná se o transfúzní přípravek, který obsahuje červené krvinky, zůstávající po odsátí plasmy. Pro snížení viskozity koncentrátu se přidává resuspenzní roztok. Nejčastěji používané roztoky jsou SAG-M a ADSOL. V případě použití roztoku SAG-M je možné uchovávat erytrocyty 35–42 dní, při použití roztoku ADSOL je tato doba 42 dní za teploty $+4^{\circ}\text{C}$. Využívá se ke zvýšení objemu pro přenos kyslíku.

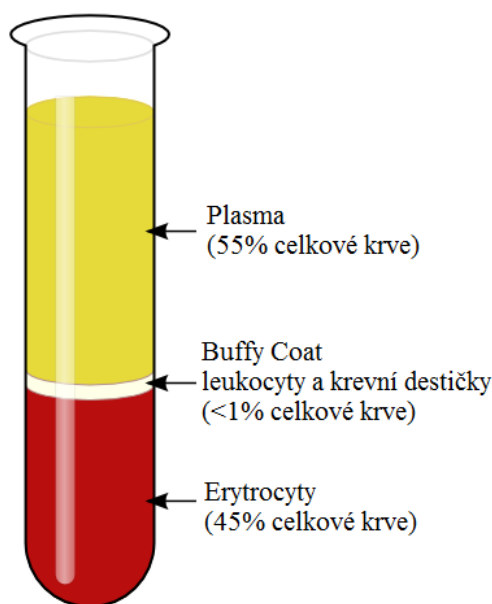
Čerstvě zmražená plasma

Získaná pomocí samostatného odběrového procesu - plazmaferézy, či filtrovaná z odběru celé krve.

2.5 Oddělení a příprava krevních složek

Po odběru se pacientova krev sbírá do setu tří obalů, spojené plastovými trubičkami, umožňující přenos částí krve bez přerušení sterility. Hlavní obal obsahuje látky proti koagulaci. Po odběru se krev odstřeďuje, aby se rozdělila do tří vrstev, korespondující jejich hustotě. Nejvyšší vrstva - plasma - se protlačí do prázdného plastového obalu (plasma bag) skrz plastovou trubičku, umístěná v horní části. Spodní vrstva červených krvinek se vede do dalšího obalu (SAG-M), obsahující tekutinu s živinami. Zbývající vrstva se nazývá anglicky "buffy coat". Jedná se o bílou neprůhlednou vrstvu, těsně nad erytrocyty. Skládá se z velkých množství trombocytů, leukocytů a má využití v produkci koncentrátů krevních destiček.

V transfúzní medicíně, proces připravování a oddělování krevních součástí z celé odebrané krve je v moderní době nezbytné. Rozdělením na její základní komponenty nám je umožňuje skladovat pod jejich optimálními podmínkami a je pro krevní centrum mnohem efektivnější a ekonomičtější. Každá součást je jasně označena čárovým kódem s identifikačním číslem dárce, krevní skupiny a Rh faktoru, název výrobku, datum odběru a expirace a skladovací podmínky. Veškeré informace jsou k dispozici z nemocničního informačního systému. [3]

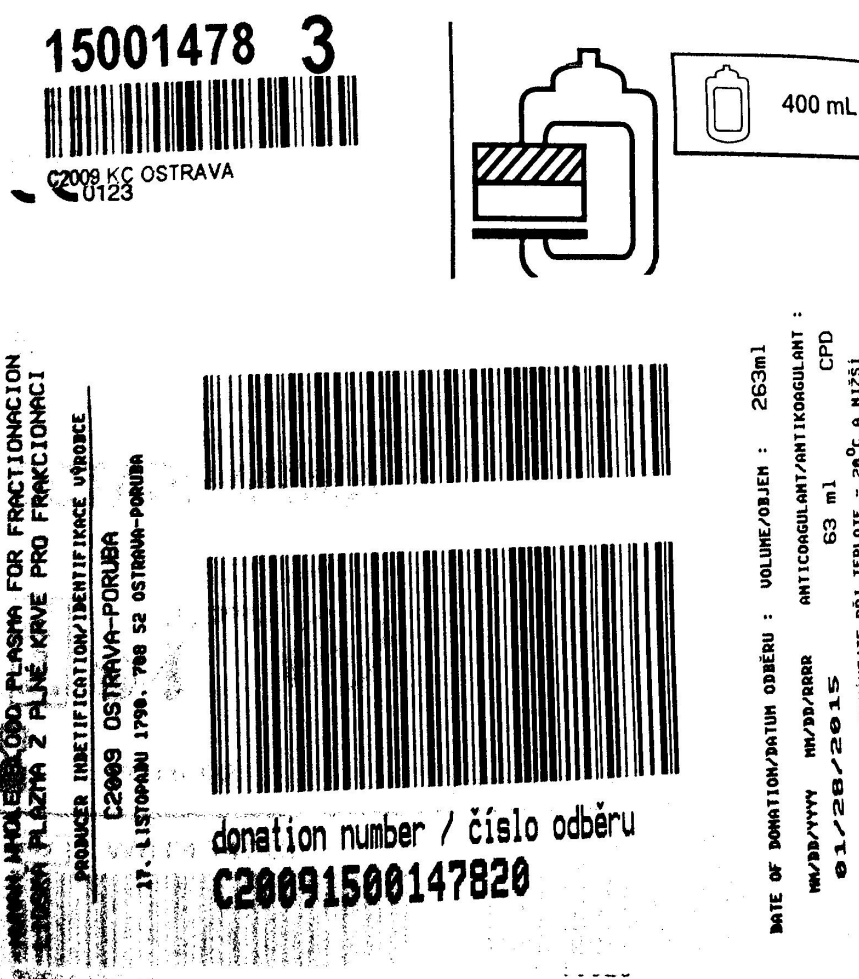


Obrázek 2.1: Znázornění vrstev odstředěné krve [5]

3. Vaky transfúzních přípravků

3.1 Etikety

Samolepicí nálepky na krevní vaky se vyrábí ze speciálních materiálů a jsou vyrobeny takovým způsobem, aby zůstaly čitelné i po sterilizaci a následném hlubokém mražení. Splňují přísné požadavky na označení vaků v laboratořích a nemocnicích.



Obrázek 3.1: Štítek lidské plasmy pro frakcionaci

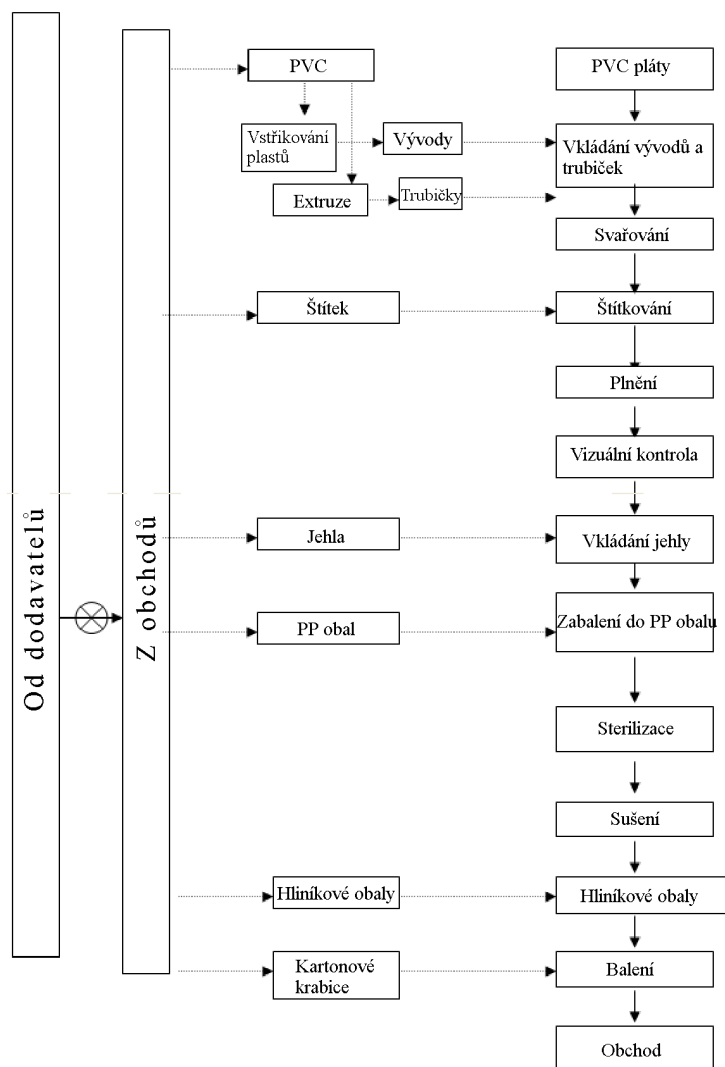
Na obrázku 3.1 lze vidět štítek plasmy, posílané na další zpracování, používané krevním oddělením ve Fakultní nemocnici Ostrava. Všechny informace o vaku jsou k dispozici v databázi, přičemž jeho identifikační číslo je uvedené prostřednictvím čárových kódů pro snadné, rychlé a neomylné zacházení. Na pravé straně lze vidět doplňující informace o typu použitého antikoagulantu a jeho množství, datum odběru ve formátu MM/DD/YYYY a předepsaná skladovací teplota. Čárové kódy jsou přepsané velkými, dobře viditelnými čísly pro dobrou viditelnost. Na levé straně se nachází informace o obsahu vaku (lidská plazma z plné krve pro frakcionaci - separace odstředěním) a identifikaci výrobce.

15004700 2 C2009 KC OSTRAVA		CompoFlow® 2 <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> 600 ml SAG-M 100 ml </div> <div> Composition (1000 ml SAG-M): Sodium Chloride 8.77 g; Adenine 0.169 g; Glucose Monohydrate 9.0 g; Mannitol 5.25 g; Water for injections to 1000 ml. </div> </div>	
Fakultní nemocnice Ostrava, Krevní centrum			
 Č. PŘÍPRAVKU C2009 15 004700 00		 A RhD POZIT. Ccee Kk	
 EBR OBJEM 267 ml Hematokrit 0,50 až 0,70		 ERYTHROCYTY BEZ BUFFY-COATU RESUSPENDOVANÉ	
Vyrobeno ze 450 ml ± 10% krve ODEBRANÉ DO 63 ML CPD RESUSPENDOVANO U 100 ML SAGM		 ODEBRÁNO 30.03.2015 POZDRŽET! POUŽITELNÉ DO: 11.05.2015 23:59 UCHOVÁVEJTE PŘI +2°C AŽ +6°C	
NEUVOLNĚNO			

Obrázek 3.2: Štítek vaku erytrocytů

Na tomto štítku lze vidět číslo transfúzního přípravku s identifikací výrobce, typ a objem tekutiny ve vaku, optimální teplota pro skladování, den odběru a datum použitelnosti. Díky svému označení ve velkém barevném poli, je z důvodu velmi rychlého a jednoznačného určení nejvíce prominentním prvkem typ krevní skupiny.

3.2 Výrobní proces



Obrázek 3.3: Výrobní proces vaků [7]

Veškeré transfúzní vaky jsou vyrobeny procesem, znázorněném v diagramu 3.3. Každý vak je skládaný z vyráběných vývodů a trubiček, svářených za pomoci vysokofrekvenční svářečky s PVC fóliemi. Po označení vaků a plnění roztoky se vizuálně kontrolují, kompletují s odběrovou jehlou a balí do polypropylenových obalů. Po sterilizaci, sušení a zabalení je souprava vypuštěna pro použití ve zdravotnictví.

3.3 Materiál

Základní požadavky na obaly transfúzních přípravků:

1. Průhlednost
Jeden z požadavků je transparentnost materiálu pro vizuální kontrolu plnosti, vrstev po odstředění
2. Flexibilita
Za použití malé síly by mělo dojít k ohnutí materiálu, stlačení vaku.
3. Odolnost proti zlomení
4. Tepelná rezistance (odolnost)
Nejčastější metoda sterilizace je parou.
5. Materiální odolnost
Při zacházení s vakem nesmí dojít k jejímu poškození. Odstředivka je používána pro separaci červených a bílých krvinek, které jsou lehce hustší než plasma. Vysokorychlostní centrifuga generuje 5000 g lineárního zrychlení, kde 1 g je tíhové zrychlení. Několik vaků je umístěno do nádoby, kde při rotaci na konci jejího ramena působí na vak odstředivá síla v jednotkách MPa. Tento tlak by zničil většinu termoplastů.
6. Permeabilita na kyslík
Krevní destičky potřebující kyslík na jejich přežití. Všechny plastové obaly jsou do nějaké míry permeabilní.
7. Cenová vhodnost
8. Výroba a tavení
Vaky na transfúzní přípravky musí být jednorázové a vyráběné ekonomicky. Je obtížné vytvořit silný svar mezi rozdílnými druhy plastu. Pokud tedy vak vyžaduje vývodové trubičky, měly by být vyráběné ze stejného materiálu. [1]

Žádný jiný materiál kromě PVC si nezanechává své kvality v tak široké škále podmínek beze ztráty flexibility nebo odolnosti. Tyto extrémy se pohybují od velmi vysokých teplot, nutných pro sterilizaci, po týdny v nízkých teplotách, které jsou kritické pro skladování.

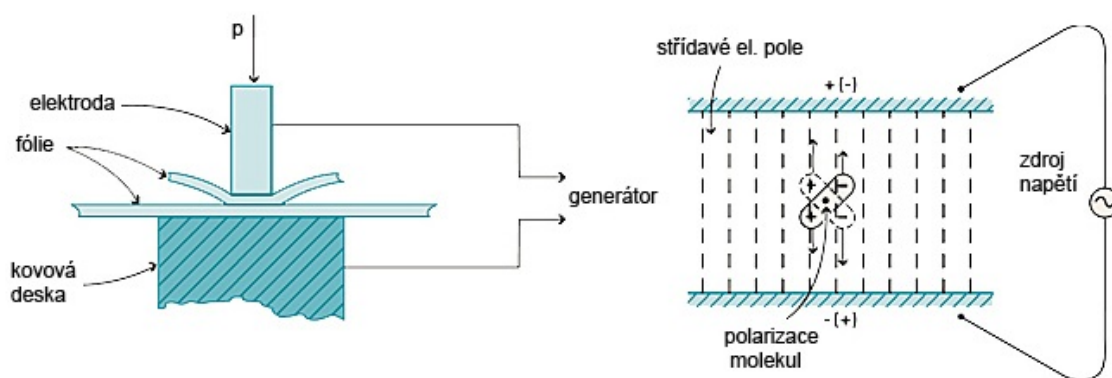
Rychlé a efektivní ošetření pacientů v krizových situacích záleží na transfúzních vacích. Jsou lehké ale téměř nemožné přetřhnout. Jednoduché na zacházení, ale zabírají méně místa než tradiční alternativy.

Protože jsou chemicky inertní a nemají žádnou reakci, výrobci používají měkčené PVC pro nádoby, nošené na těle, jako například kolostomické sáčky. Z praktického ohledu jsou PVC vaky více vhodné, než skleněné. Jsou bezpečnější, nemohou se rozbít a způsobit závažné zranění. Pro separaci krevních komponentů je možné vaky umístit do odstředivky.

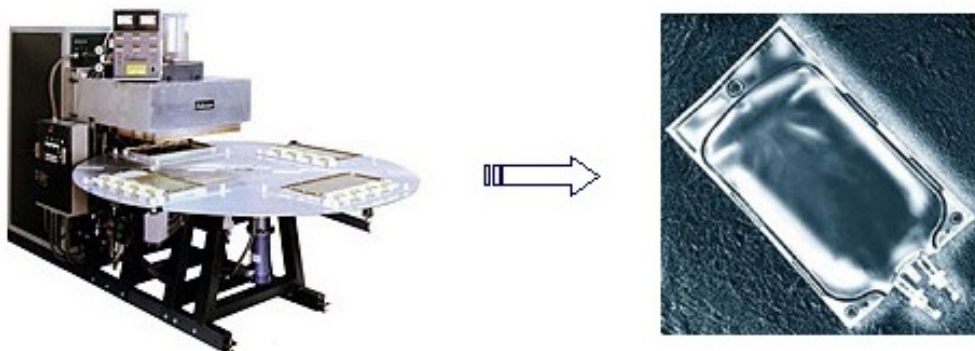
3.4 Svařování

Vysokofrekvenční svařování je proces spojování materiálu použitím elektromagnetického pole (27,12 MHz) za současného působení tlaku na jejich povrch. Využívá dielektrického jevu, kde dochází k rozkmitu molekul a jejich prolnutí do spojovaných vrstev. Základními parametry jsou doba působení elektrického pole, tlak a doba chlazení.

Výhod ve VF svařování je mnoho. Není třeba externího zdroje tepla, zdrojem je samotný materiál. Svařovací proces je velmi rychlý. Spojení obou dílů nevyžaduje žádný další materiál a ohřev materiálu ustává, jakmile se vypne vysokofrekvenční proud. Sváry jsou velmi kvalitní, mají vysokou pevnost a jsou efektivní v případech, kde je požadavek na nepropustnost vodě. [9]



Obrázek 3.4: Princip technologie vysokofrekvenčního svařování [10]



Obrázek 3.5: Vysokofrekvenční svařování zdravotnických vaků [10]

3.5 Stabilizační roztoky

Stabilizační roztoky zabraňují srážení krve a současně neovlivňují nepříznivě její přežívání. Objevení stabilizačních a konzervačních postupů umožnilo nahradit přímou transfuzi čerstvé nativní krve nepřímou transfuzí stabilizované krve. Krev je odebírána do plastových vaků, vyrobených z měkčeného PVC, spojené trubičkami. Skladovaná krev musí zachovat funkci erytrocytů, bránit srážení a minimalizovat proliferaci bakterií. Koncem expirační doby musí být v konzervované krvi být minimálně 75 % životaschopných erytrocytů.

Při procesu konzervace dochází v krvi ke změnám. Erytrocyty a krevní plasma si svou biologickou hodnotu zanechávají nejdéle, leukocyty a trombocyty pak hůře. Z bílkovin lidské plasmy zanikají rychle pouze labilní koagulační faktory. [24]

Kryokonzervace

Použití konzervačních roztoků pro potřebu skladování krve po delší dobu je méně výhodné, obzvláště u krve se vzácnými krevními znaky. V tomto případě se využívá metody zvané kryokonzervace, která aplikuje princip, kde se metabolické procesy při nízkých teplotách snižují a při teplotě $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ se naprosto zastaví. Je možné konzervovanou krev při této teplotě skladovat i několik let.

U této metody se používají kryoprotektiva - ochranné látky, bránící krystalizaci vody při zmrazování buněk. Tyto látky se musí před podáním přípravku odstranit propráním. Využívá se více metod, lišící se v rychlosti zmražení, teplotě skladování a zpracování po rozmrazení.

Jsou k dispozici dvě metody pro kryokonzervaci erytrocytů. Při kryokonzervaci s vysokou koncentrací glycerolu (48 %) je transfúzní přípravek skladován při teplotě $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, při použití nízké koncentrace glycerolu (18 %) se přípravky uchovávají při teplotě $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. [23]

Trombocyty se mrazí za použití 8–12 % koncentrace glycerolu nebo 5–15 % koncentrace dimethylsulfoxidu (DMSO). Použití DMSO pro kryokonzervaci trombocytů vykazuje lepší výsledky ve všech sledovaných parametrech než použití glycerolu. Při konzervaci granulocytů dochází k poruchám jejich funkce a změnám struktury. Lymfocyty je možné konzervovat bez velkých buněčných ztrát. Zde se využívá se glycerolu a také DMSO v koncentraci 5–15 %. [16]

4. Analýza digitálního obrazu

Každý digitální obraz může být definován jako dvourozměrná funkce $f(x, y)$, kde x a y jsou souřadnice a amplituda této funkce v jednotlivých okamžicích se nazývá intenzita obrazu. Barevné obrazy jsou skládány ze tří individuálních obrazů. Je v naší schopnosti analyzovat tento typ vyhodnocováním každé barevné složky zvlášť.

V Image Processing Toolboxu se výhradně pracuje s následujícími typy obrazů:

- RGB obrázky
- Binární
- Indexované
- Stupně šedi (Gray-scale)

Gray-scale obraz je v podstatě dvourozměrná matice, jejichž hodnoty reprezentují odstín šedi. V případě třídy `uint8` mohou dosáhnout hodnot v rozmezí 0–255. Binární obraz v prostředí MATLAB se dá představit jako logické uspořádání jedniček a nul.

[20]

4.1 Barevné modely v počítačové grafice

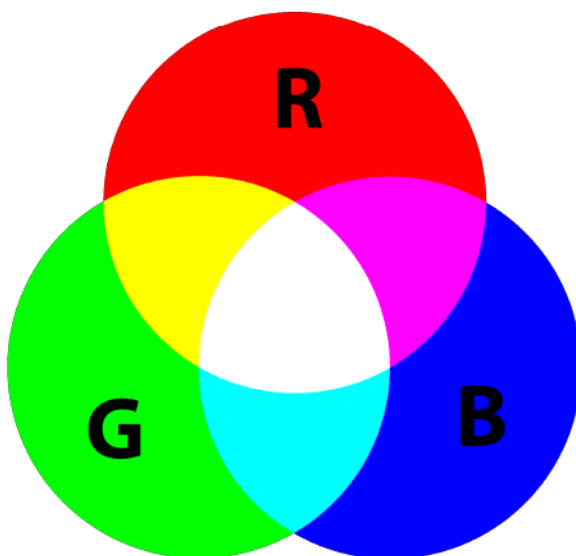
Představa o tom, jaká barva vznikne smíšením dvou odlišných barev jsou u různých lidí poměrně odlišné. Je proto důležité najít prostředky, pomocí kterých může běžný uživatel grafických systémů dobře popsat barvy a jejich složení.

Soubor základních barev, pravidla jejich míšení a měněné barevné charakteristiky jsou v počítačové grafice definované pomocí barevných modelů. Grafické systémy často obsahují několik barevných modelů a prostředky pro jejich převod.

Barevný model je matematická reprezentace setu barev. Tři z nejvíce používaných barevných modelů jsou RGB, využívaný v digitální grafice, YCbCr, ve video systémech a CMYK, nejčastěji využíván v tisku. Nicméně, žádný z těchto modelů není přímo zastoupený jako složky odstínu dané barvy, saturace, či jeho jasů. Za tímto účelem byly vytvořeny další modely, jako například HSI a HSV pro zjednodušení programování, zpracování a manipulaci konečným uživatelem. Každý z jednotlivých modelů lze derivovat z RGB informací. [17] [15]

RGB

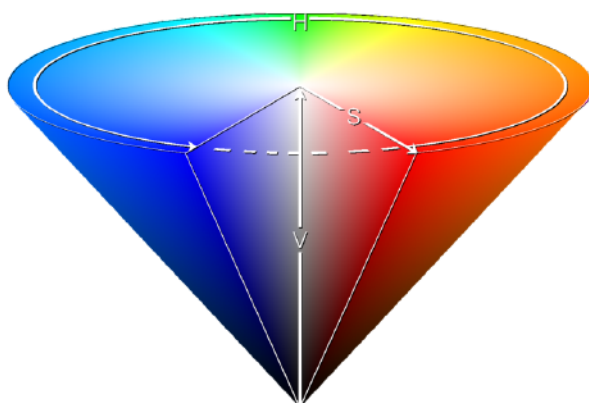
Aditivní RGB model se staví k reprezentaci barvy jako kombinace červené, zelené a modré. Množství jednotlivých složek se vyjadřuje 8 bitovým číslem, tedy dosahuje hodnot od 0 do 255 (všeobecně to může být rozsah 0–1), při čemž kombinace (0, 0, 0) znamená černou barvu a (255, 255, 255) barvu bílou. Množství barvy určuje intenzitu, poměr složek určuje výsledný odstín. Tento princip používají například monitory ale i fotoaparáty a skenery. Aditivní model je tedy nazýván pro jeho princip přidávání složek, dokud se nedosáhne požadovaná hodnota. Kombinací 3 složek, při čemž každá může dosáhnout 256 hodnot, vzniká teoreticky více než 16,7 milionů barevných kombinací. Je reprezentován trojrozměrným kartézským souřadnicovým systémem. [17]



Obrázek 4.1: RGB model [8]

HSV

K barevným modelům, založených na míšení barev se řadí i HSV (Hue, Saturation, Value) a HSL (Hue, Saturation, Lightness). Byly vytvořeny z důvodu přiblížení se lidskému vnímání barvy. HSV je preferovaný pro manipulaci odstínu a saturace, neboť poskytuje větší dynamický rozsah. Oba dva modely jsou v podstatě transformace z RGB modelu a dokonce nejsou ani standardizované. Jejich přínos spočívá v jiném podání barev. Barvu si uživatel navolí kombinací odstínu, sytosti a jasů. V modelu HSL je čistá barva definovaná jasem, s hodnotou rovné polovině maxima a maximální saturací. V modelu HSV musí být hodnota (value) nastavená na maximum spolu se sytostí. [14]



Obrázek 4.2: HSV model [6]

Diagram 4.2 zobrazuje modelovou reprezentaci barevného pole HSV jako pomůcku pro lepší představení jednotlivých parametrů.

Vnější okraj vrchu tohoto kuželu je barevné kolo, které zahrnuje všechny čisté barvy. Parametr H (Odstín) představuje úhel kolem tohoto kola.

Hodnota S (Saturace) je nulová pro jakoukoliv barvu na ose kužele. Vzrůst této hodnoty koresponduje s pohybem od osy.

Parametr V je pro černou barvu nulový. Vzrůst této hodnoty odpovídá pohybu od černé a směrem k vrcholu kužele.

4.2 Prahování

Jeden z nejdůležitějších problémů v kamerovém systému je identifikace objektů v obraze. Tento proces, ačkoli přirozená a jednoduchá záležitost pro lidi, je překvapivě složitá pro počítačový systém. Rozdělování obrazu do regionu se nazývá segmentace. Segmentace je velmi důležitým krokem pro analýzu obrazu. Pro proces prahování je nezbytný dostatečný kontrast objektů k pozadí a znalost hodnot intenzit.

Jedná se o transformaci, která zobrazuje vstupní obraz $f(i, j)$ na výstupní obraz $g(i, j)$ následovně:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & : f(x, y) \geq T \\ 0 & : f(x, y) < T \end{cases} \quad (4.1)$$

Hlavní princip spočívá ve vlastnosti odražení a pohlcování světla určitých objektů nebo oblastí v obraze. To znamená, že mají konstantní jas. Díky určité jasové hodnotě, respektive prahu, je možné oddělit jednotlivé objekty od pozadí. Hlavní výhody této metody spočívají ve výpočtové nenáročnosti a možnosti zpracování obrazu v reálném čase.

Globální a lokální prahování

Globální prahování je metoda, při které se používá pouze jedna prahová hodnota na celý obraz. Při lokálním prahování se vstupní obraz rozdělí na několik nezávislých částí. V každé

z nich se určí vhodná hodnota a výsledný obraz je potom složený z jednotlivých pod obrazů, které jsou segmentované svými lokálními prahy. V případě, že tato hodnota závisí na souřadnicích (x, y) , takové prahování nazýváme dynamické.

Metoda určování prahu

Určení vhodné hodnoty prahu může být velmi subjektivní hodnocení. Existují metody, které určují práh automaticky.

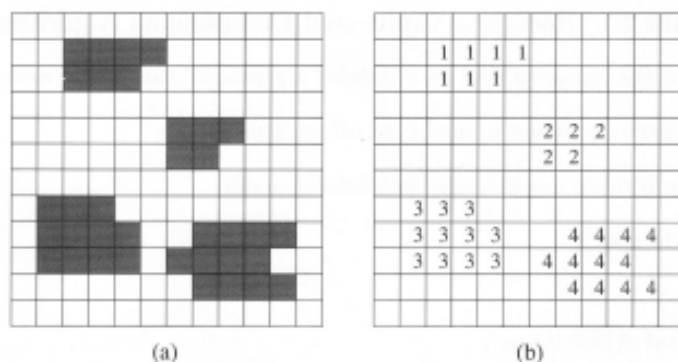
Prahování pomocí histogramu

V tomto způsobu se určuje práh podle tvaru histogramu. V ideálním případě je histogram dvojevrcholový. Tento jev nastává, když mají objekty a pozadí rozdílnou hodnotu jasu. Může však nastat i případ vícevrcholového histogramu. V tomto případě se práh určí složitěji. [21]

4.3 Binární algoritmy

Tvoření regionů

Jedna z nejčastějších operací ve strojovém vidění je nacházení spojených oblastí v obraze. Dotýkající pixely formují region, který může představovat chtěný objekt. Tento algoritmus najde všechny dotýkající se komponenty a přiřadí jim jedinečné označení. [22]



Obrázek 4.3: Tvoření regionů [22]

Filtrování obrazu

Ve většině případů se v binárním obraze objevují nechtěné regiony, dané šumem. Obvykle, tyto oblasti jsou malé. V takových případech může být použit velikostní filtr, který odstraní všechny komponenty pod hodnotu T_0 nastavením všech pixelů nesplňující tuto podmínku na 0. [22]

4.4 Detekce hran

Edge detection - detekování hran - je jeden ze způsobů segmentační techniky, který zjišťuje přítomnost hrany a zobrazí je v obraze. Hlavní cíl detekování hran je zjednodušit obrázek takovým způsobem, abychom minimalizovali počet analyzovaných dat. Hrany jsou definovány jako pixely, které spojují dvě oblasti s rozdílnými změnami obrazových amplitud. Na základě charakteristik sledovaného regionu - např. pozice, orientace a intenzita pixelů, se vyhodnocuje, zda-li je každý z těchto vyhodnocovaných pixelů hrana, nebo ne. [19]

Hrana v obraze je množina bodů, které leží na rozhraní mezi dvěma regiony. Ideální hrana vzniká tam, kde má jasová funkce skokovou změnu. V praxi ale různé postupy při získávání a zpracovávání obrazu způsobí, že hrany jsou rozmazané, tedy průběh funkce jasu v místě hrany není skokový, ale připomíná pilovitý průběh. Sklon této pily je závislý na úrovni rozmazání hrany. [18]

Hrana v obraze nemusí znamenat vždy hranici mezi objekty ve scéně. Hrany mohou vznikat a zanikat v závislosti na úhlu pohledu, na rozhraní světla a stínu, nebo v místech trojrozměrných hran objektů. Když hranu definujeme jako velkou změnu jasové funkce, bude v místě hrany hodnota derivace jasové funkce dosahovat lokální maximum. Největší hodnota bude ve směru kolmo na hranu. Na detekci hran se používá široká paleta nástrojů.

Operátory derivace prvního řádu hledají hrany na základě maximální hodnoty gradientu. Gradient je pro funkci dvou proměnných sloupcový vektor, jehož prvky jsou parciální derivace funkce podle jednotlivých proměnných. Velikost tohoto vektoru je daná jako odmocnina ze součtu druhých derivací jeho prvků, ty jsou samy od sebe lineární operátory, ale velikost vektoru zjevně ne, neboť obsahuje mocniny a odmocniny. Naopak velikost gradientu je směrově nezávislá, ale jeho jednotlivé prvky ne. I když to není úplně správně, jako gradient se často označuje velikost vektoru gradientu. Pro zjednodušení se používá aproximace s použitím absolutních hodnot, která je jednodušší na výpočet, ale ztrácí se vlastnost nezávislosti na směru. Většina používaných masek je schopná detekovat jen horizontální a vertikální hrany. [21]

Sobel

Operátor Sobel používá dvě masky, jedna vertikální a druhá horizontální. Většinou tvořeny jako matice 3x3.

Nejjednodušší aproximace první derivace je $G_x = f(x+1, y) - f(x, y)$ a $G_y = f(x, y+1) - f(x, y)$. Další dvě definice navrhl Roberts v roce 1965,

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$G_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Často jsou označovány jako Roberts cross-gradient operators. Masky se spárným rozměrem jsou nepříjemné na implementaci. Proto je nejmenší možný rozměr masky, který nás bude zajímat 3x3. Aproximace s použitím masky 3x3 může být:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

aproximuje derivaci v ose x,

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

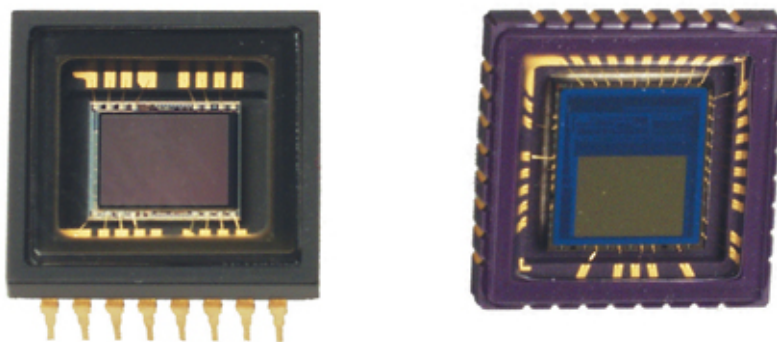
aproximuje derivaci v ose y.

Tyto masky se označují jako Sobelovy operátory. Používají se na implementaci aproximace derivace. Suma všech koeficientů v předchozích maskách je 0, výstupem tedy bude pro konstantní hodnotu úrovně šedi nulová hodnota.

5. Metody snímání

Při zachytávání obrazu fotoaparátem světlo prochází čočkou a padá na senzor. Ten se skládá z obrazových elementů (pixelů), které zaznamenávají množství dopadajícího světla. Proběhne konverze na odpovídající počet elektronů, které se následně převedou na napětí a nakonec na číselné hodnoty skrze A/D převodník. Tento signál se zpracovává elektronickými obvody uvnitř kamery.

CCD i CMOS jsou senzory, které můžeme naléznout v digitálních kamerách. Oba mají své výhody a slabiny.



Obrázek 5.1: Vlevo: CCD, Vpravo: CMOS [11]

5.1 Optické snímače

CCD senzory

První digitální fotoaparáty využívaly technologie CCD (Charged-Coupled Devices) na převod obrazů z analogového světelného signálu na digitální pixely. Jejich speciální výrobní proces dovoluje konverzi bez šumu. Většinou jsou dražší, než zařízení využívající CMOS.

CMOS senzory

CMOS (Complimentary Metal Oxide Semiconductor) čipy používají tranzistory na každý pixel na přenos náboje skrz tradiční vodiče. S každým pixelem se tedy nakládá samostatně. Jejich výrobní proces je jednoduchý na produkci a to ovlivňuje jejich tržní cenu.

Barevná filtrace

Jelikož obrazové senzory zaznamenávají pouze množství světla s žádnou informací o barvě, zařazují se před senzor barevné filtry. Dvě nejčastější metody jsou RGB (Red, Green, Blue) a CMYG (Cyan, Magenta, Yellow, Green). RGB jsou základní barvy, které smícháním v různých kombinacích můžeme reprodukovat většinu barev viditelného spektra. [11]

Vyhodnocení

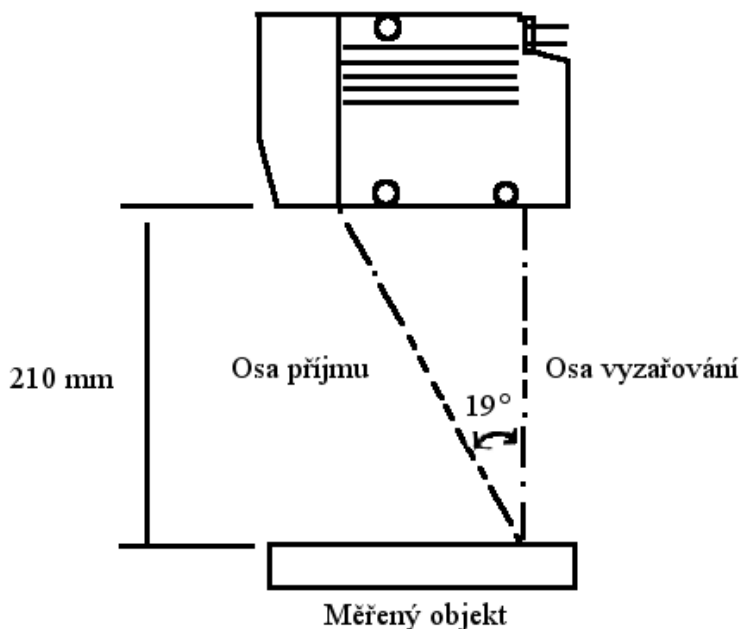
Největší rozdíl je, že CCD senzory vytvářejí velmi kvalitní fotografie s minimálním šumem. Jsou více citlivé na světlo, na rozdíl od CMOS senzorů, které potřebují více světla na vytvoření nízkošumového obrazu. S ohledem na energetickou efektivitu a cenu, CMOS senzory jsou lepší.

5.2 Profilové snímače

Profilové snímače umožňují velmi přesné bezdotykové měření rozměrů daného objektu na následné vyhodnocení. Nachází uplatnění v různýchruzích průmyslové výroby a to v samotném řízení technologického procesu nebo při kontrole kvality.

Snímače pracují na principu 2D optické triangulace. Mezi zdrojem světla, osvětleným bodem zkoumaného objektu a snímačem se tvoří tzv. triangulační trojúhelník. Úhel paprsku od zdroje je neměnný, kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí vysvíceného bodu na přijímacím senzoru. Na základě velikosti tohoto úhlu je možno určit souřadnici objektu na ose Z.

Tímto se vytváří se 2D obraz profilu. Kontrola celého povrchu se dá zajistit buď pohybem snímače nebo samotného objektu. V úlohách s účelem měření převýšení, velikosti mezer, úhlů tvaru profilů či detekci rozměrů plochy nabízejí velmi velkou přesnost, která je v řádu mikrometrů. Jako zdroj světla se nejčastěji využívá laserového paprsku a jako přijímač skoro výhradně CCD senzor. [13]



Obrázek 5.2: Princip profilových snímačů [13]

6. Snímání vaků

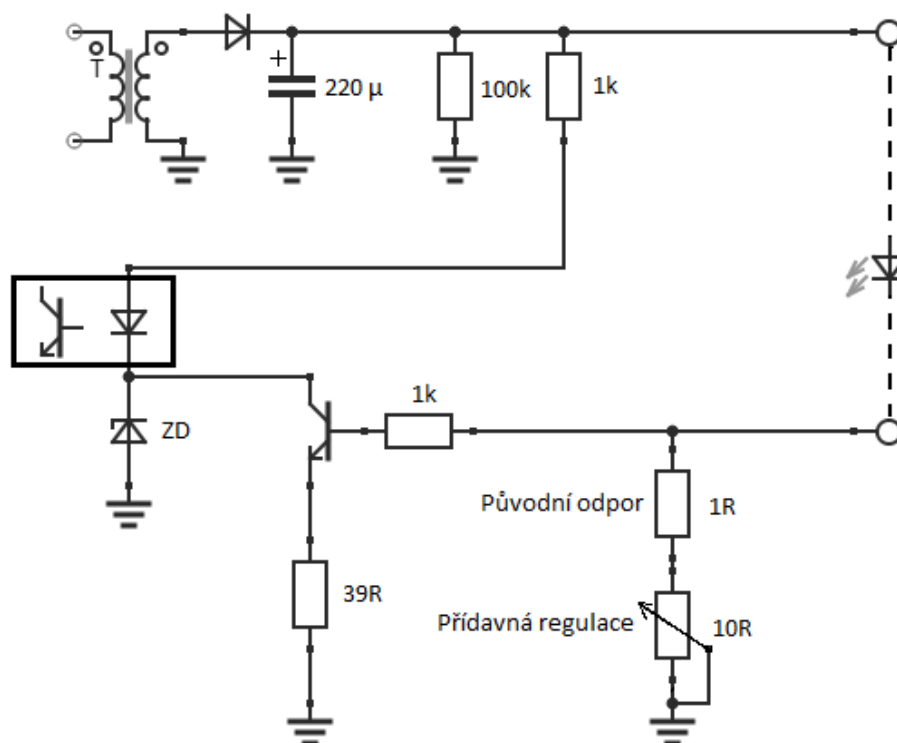
Pro zachování maximální efektivity algoritmu pro zpracování obrazu je velmi důležité mít dostatečné a pokud možno konzistentní osvětlení, rozložené kolem celé optické osy, svítící pod mezním úhlem, aby nedocházelo k nežádoucím odleskům.

Pro tento účel byl sestaven přístroj využívající COB LED čip za účelem zajištění stálého způsobu zobrazení za jakýchkoliv světelných podmínek. V návrhu tohoto řešení byla velmi zohledněna cena způsobu osvětlování. LED čip je napájen spínaným zdrojem, dodávající konstantní proud. Intenzitu osvětlení je možné snížit za pomoci otočného potenciometru.

Rozhodnutím, použít LED diodu na prosvícení vaku, nastává problém upravení svazku světla, který za normálních podmínek není příliš rozptýlený. Z povahy našich požadavků bychom požadovali co nejvíce rovnoměrně rozprostřené světlo, což tento způsob postrádá. Experimentálně bylo použito plexisklo jako difuzor. Z testovacích fotografií se tato metoda ukázala jako akceptovatelná.

LED (Light Emitting Diode) jsou nízkonapěťové zdroje světla, vyžadující konstantní DC napětí nebo proud pro zajištění normální funkce. Je potřeba je chránit před výkyvy napětí, které může způsobit nepřiměřené změny proudu. Jestliže se převýší proud, uvedený výrobcem, dojde ke zvýšení intenzity světla, ale zvětšené tepelné účinky mohou přetížít polovodičový přechod a může dojít k poruše diody. Z tohoto důvodu LED potřebují zařízení, které umožňuje konverzi AC napětí na správné DC napětí a reguluje proud.

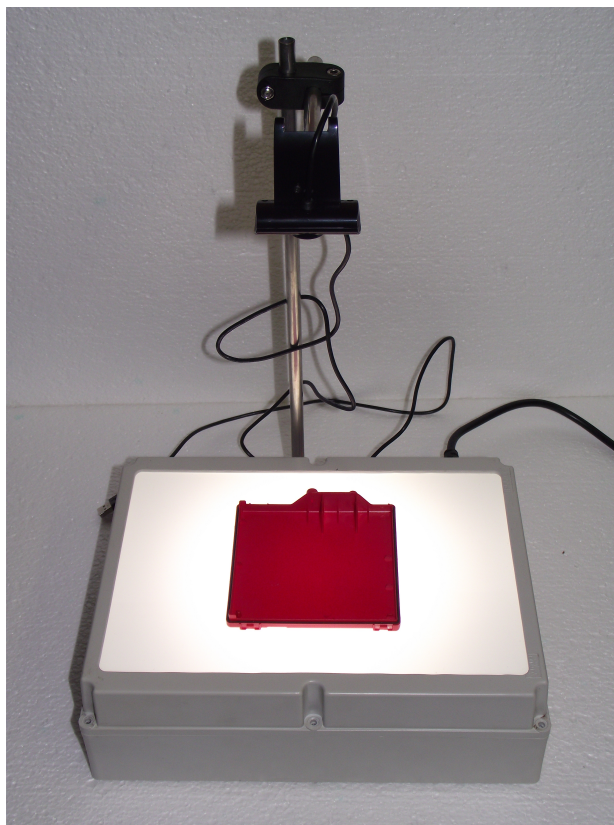
K tomuto účelu byl použit spínaný zdroj Waterproof Electronic LED Driver 20W. Pro regulaci proudu tekoucí diodou, a tedy její intenzity, podle potřeby uživatele, byl k existujícímu zařízení přidán potenciometr o hodnotě 10 Ω . Jeho zapojení je možno sledovat na obr. 6.1. Toto schéma zobrazuje vnitřní zapojení sekundárního vinutí transformátoru. Na přidaném proměnlivém odporu se tvoří úbytek napětí, které omezuje snímáný proud a zpožďuje spínání zdroje, za pomoci interakce se zpětnou vazbou, realizovanou použitím optočlenu.



Obrázek 6.1: Přídavná regulace proudu diodou

LED dioda je montovaná na pasivním chladiči o rozměrech 28 x 12 cm. Napájení 230 V /50 Hz je dodávané za pomoci odnímatelného síťového kabelu se standardní vidlicí typu E a EURO konektory (IEC C13, IEC C14) na výrobku). Dále je vedeno skrze jednopólový síťový vypínač.

Pro realizaci tohoto zařízení byla použita instalační krabice o rozměrech 30 x 22 x 9,5 cm. Samotná plocha na snímání vaku měří 27 x 18 cm. Pro skrytí interních komponentů v projekci světla na sklo zde bylo implementováno zrcadlo.



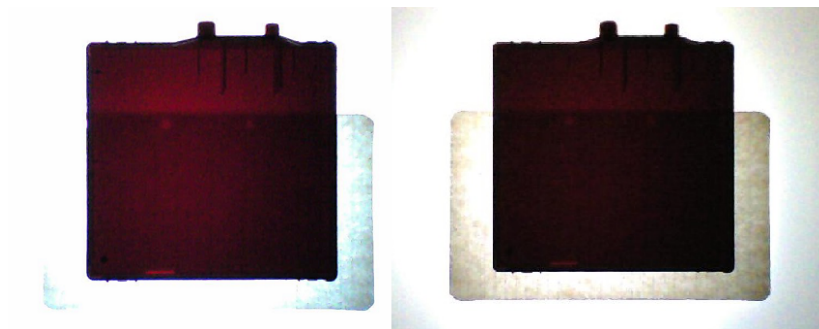
Obrázek 6.2: Výrobek pro podsvícení vaků

V případech kontroly kvality výrobků s požadavky na jednoduché vlastnosti jednotlivých objektů je nejlepší použití profilových snímačů. Nabízí velmi vysokou přesnost s jednodušším pozdějším procesem zpracování naměřených dat.

Pro naši aplikaci je nejvýhodnější použití kamerového systému s využitím senzoru CMOS, z důvodu nutnosti extrakce různých informací z obrazu, které nemohou být získány profilovými snímači.

Prvotně bylo zvažováno použití webové kamery jako optického snímače. S ohledem na její parametry a cenovou dostupnost byla vybrána webkamera Creative Live! Cam Sync HD.

Z důvodu nerovnoměrného osvětlení se ale software webkamery snaží vyrovnat hodnoty intenzity pixelů, což vede ke zkreslení obrazu a mizí důležité detaily. Tento jev můžeme potlačit manuálním nastavením doby expozice – doby vystavení senzoru fotoaparátu světlu ze scény.



Obrázek 6.3: Expozice: AUTO x MANUAL (-9)

Na tomto obrázku je zobrazení manuálního nastavení expozice, z důvodu lepší distribuce světla pro snímání krevních vaků.

Po prvním focení na krevním centru ve Fakultní nemocnici Ostrava se použití webkamery zavrhl, kvůli nedostatečným detailům na zpracování obrazu. Na místo předchozího optického snímače se použil fotoaparát mobilního telefonu Xiaomi MI2S, který splňoval požadavky na kvalitu.

Tabulka 6.1: Vlastnosti webové kamery Creative Live! Cam Sync HD

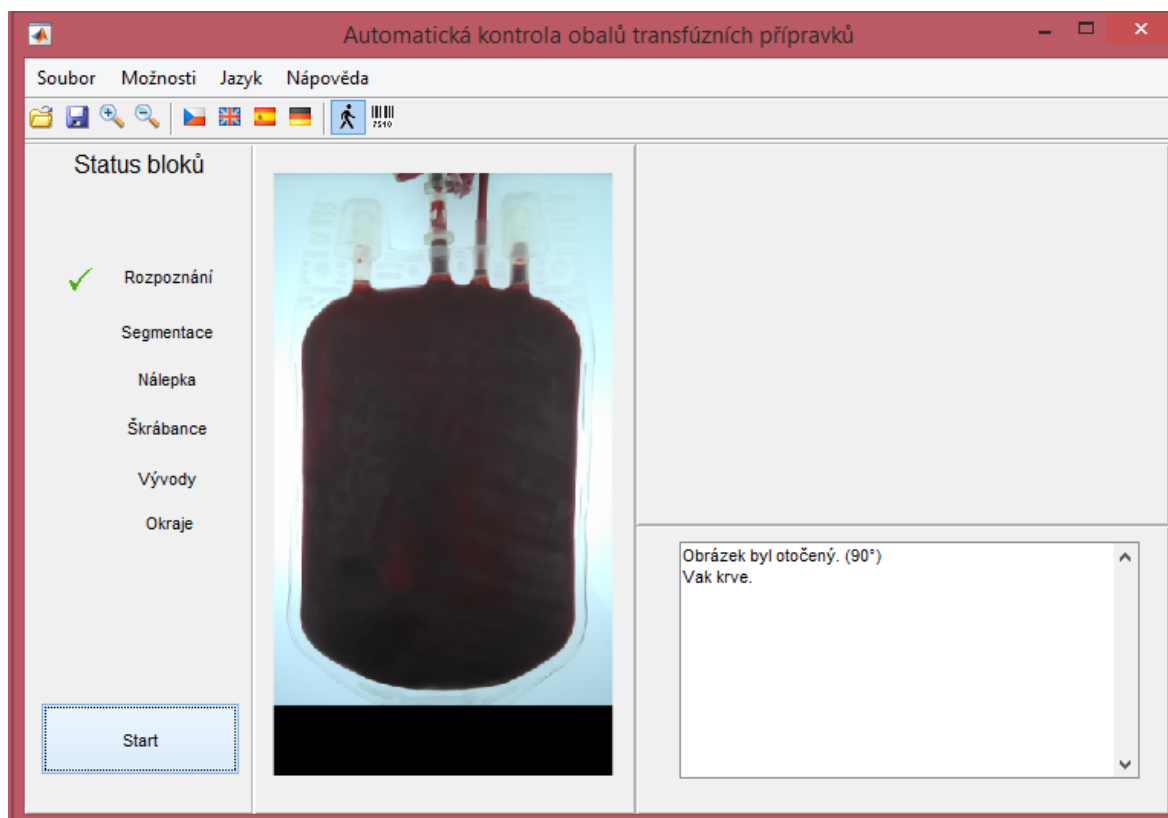
Výrobce	Creative Technology Ltd.
Model	Live! Cam Sync HD
Snímač	1 Megapixelový CMOS (1280 x 720)
Blesk	Ne
Zaostřování	Fixní
Video	VGA @ 30fps
Ohnisková vzdálenost	1.92 mm
Clona	F/2.4

Tabulka 6.2: Vlastnosti fotoaparátu Xiaomi MI2S

Výrobce	Xiaomi
Model fotoaparátu	MiTwo
Snímač	13 Megapixelový CMOS
Snímač č. 2	2 Megapixelový CMOS
Blesk	Ano
Zaostřování	Automatické
HDR	Ano
Video	1080p @ 30fps, 720p @ 90 fps
Délka expozice	1/36 sec.
Rychlost ISO	ISO-108
Ohnisková vzdálenost	4 mm / 5 mm
Clona	F/2.2

7. Realizace softwaru

Pro snadnou interakci s programem bylo vytvořeno grafické uživatelské prostředí – GUI. Program se spouští tlačítkem START po vybrání obrazu ke zpracování. Pro výběr obrazu je k dispozici menu s adresářem všech vzorových fotografií, pořízených ve spolupráci s Fakultní nemocnicí Ostrava. K tomuto výběru se lze dostat z klasického menu, panelu nástrojů nebo z kontextového menu. Při spuštění programu bez vybraného souboru Vás program vyzve na výběr obrazu sám.



Obrázek 7.1: Grafické uživatelské prostředí

Program je provedený v oddělených blocích, každý s vlastním výstupním stavem. Zda-li jakýkoliv z bloků selže, výsledný stav pro kontrolovaný vak je automatické selhání. Pro testování jednotlivých bloků je možno použít režim "Step by step", který program pozastavuje po skončení každé etapy a vyčkává na pokyn pokračování, realizované zmáčknutím tlačítka "Next".

Součástí tohoto prostředí je také experimentální funkce čtení čárových kódů. Při platném stavu rozpoznané nálepky se uživateli umožní vybrat jeho umístění v prostoru. Kód se automaticky rozpozná a vypíše do informačního okna.

Ukazatele stavů jsou tvořeny pomocí funkcí "setPass()" a "setFail()". Transparentnost pozadí je zajištěna čtením alfa kanálu. Jedná se o složku pixelu, která udává hodnotu jeho průhlednosti. Udává se jako parametr při načítání obrazu příkazem "imread". Pro jejich uskutečnění se použila globální proměnná z důvodu častého využívání načtené informace.

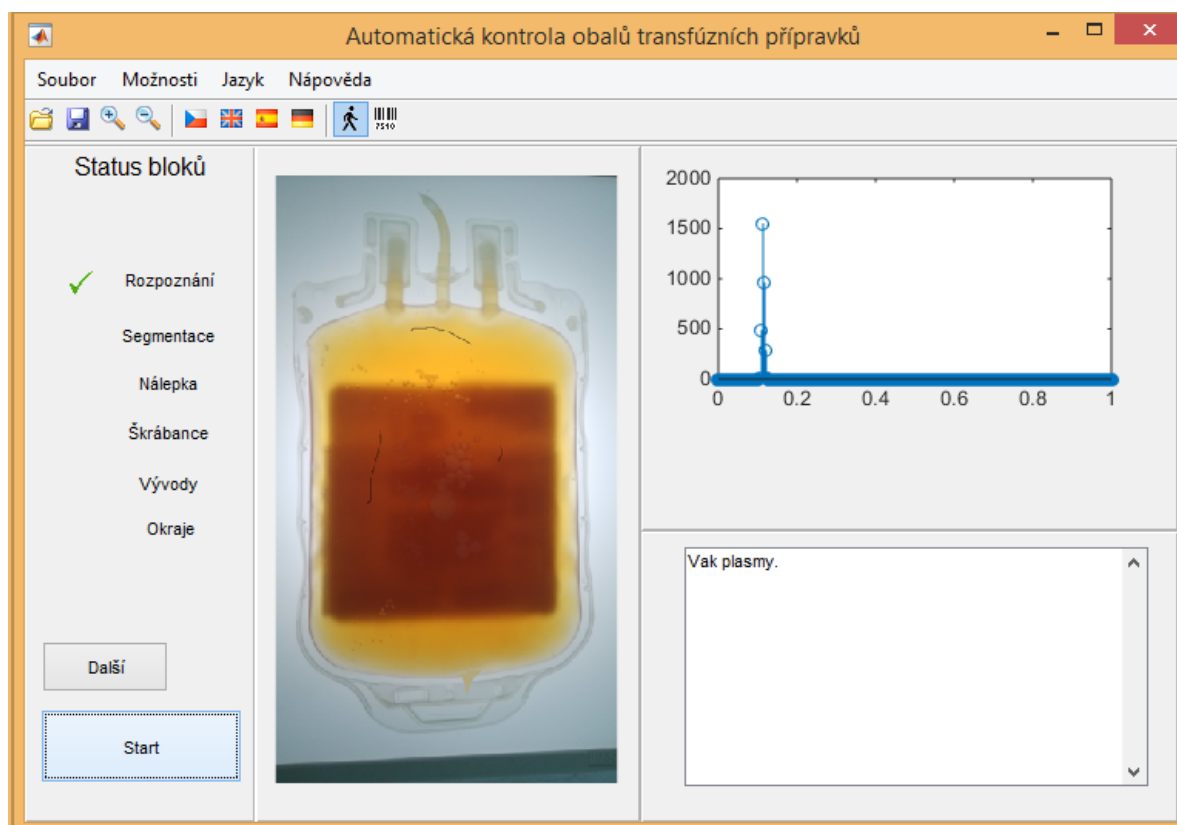
Mimořádný stav, průběh programu, či zjištěné hodnoty jsou popisovány v reálném čase prostřednictvím zpráv, posílaných do grafického objektu "listbox". Jakákoliv zpráva je jednoduše vpravena do tohoto prvku za pomoci vytvořené funkce "addToListbox", která vytáhne uložená data do dočasného pole a přidá danou zprávu do posledního prvku.

Program je realizovaný ve čtyřech jazycích: Češtině, Angličtině, Španělštině a Němčině. Při jejich změně dojde k zavolání funkce "setLanguage" s kódem jazyku jako argument. Zde dojde k přemazání textu grafického objektu (String, Label), novým, za pomoci další funkce "getLabel", kde se požadovaný text získá z databáze dotyčného jazyku, a zároveň se naplní struktura "msg", sloužící jako shrnutí veškerých informačních zpráv programu.

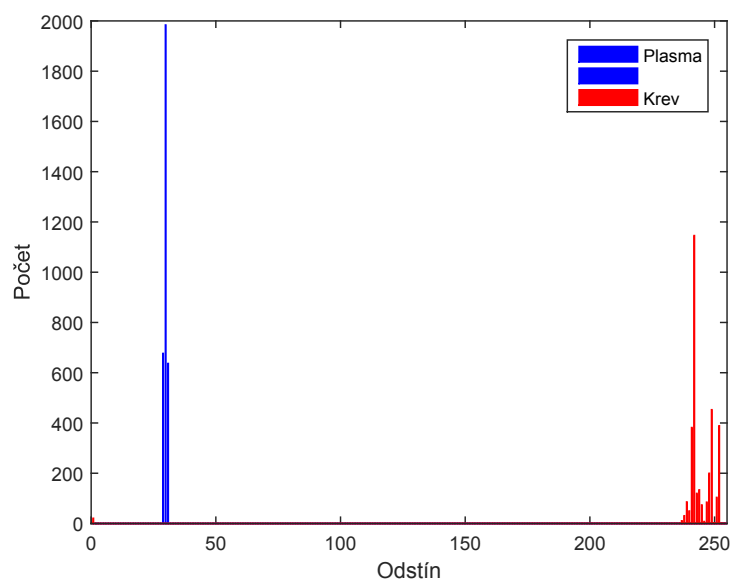
Většina operací je provedena pomocí příkazů, obsažených v Image Processing Toolboxu. Jeho přítomnost je nezbytná.

Po selekci a spuštění programu tlačítkem, se fotografie načte do prostředí hlavních os, označené "axes.graf". Veškeré proměnné se vynulují zavoláním funkce "clearFigure". Obraz je zmenšen pro ulehčení nutného výpočetního výkonu a podle potřeby rotován.

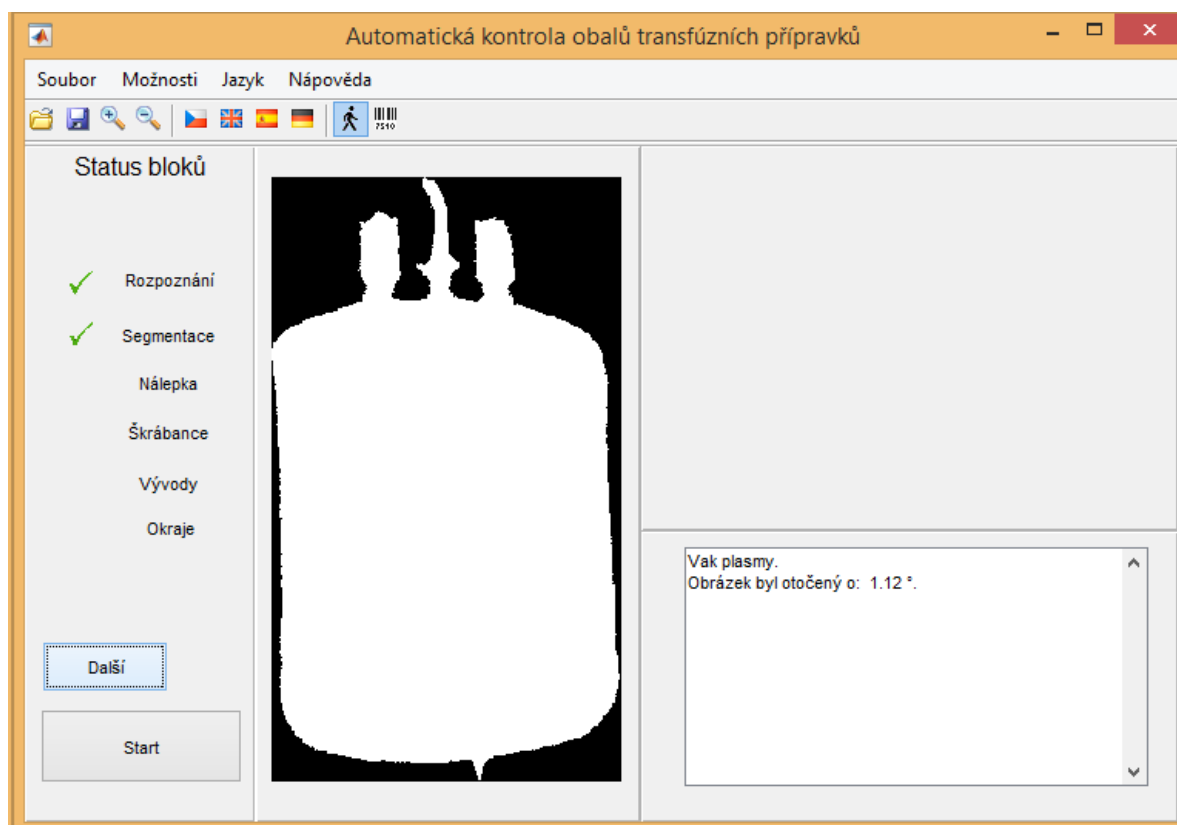
Blok zjištění typu vaku podle barvy využívá barevného modelu HSV (Hue, Saturation, Value), kde první kanál představuje barevný odstín daného obrazu. Při vygenerování histogramu, je možné sledovat vrcholy na určitém rozsahu spektra a podle jejich četnosti soudit, kterou barvu tento obraz reprezentuje. Z těchto dat je možno říci, zda se jedná o vak plasmy nebo krve. Tento údaj je také důležitý z důvodu rozdílně použitých algoritmů pro samotné zpracování obrazu.



Obrázek 7.2: Klasifikace vaku podle barvy



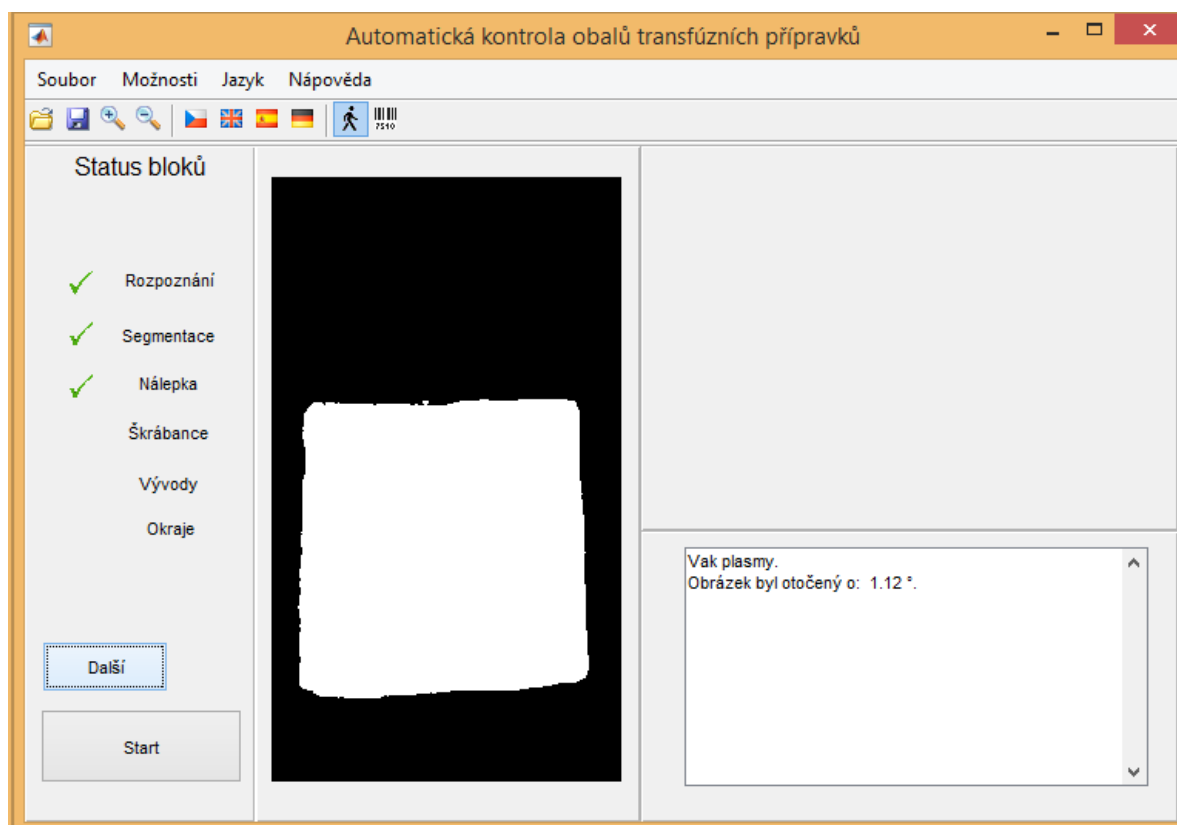
Obrázek 7.3: Porovnání histogramů plasmy a krve (HSV, první kanál)



Obrázek 7.4: Segmentace oblasti tekutiny

Hlavní a nejdůležitější metodou, používanou v tomto řešení je segmentace podle barvy. Za tímto účelem je obraz převedený do modelu YCbCr. Byl navržen algoritmus na automatické nastavení požadovaných prahů na následnou segmentaci obrazu. Výsledkem jsou binární obrázky oblasti tekutiny a oblasti, kde se nachází etiketa s informacemi.

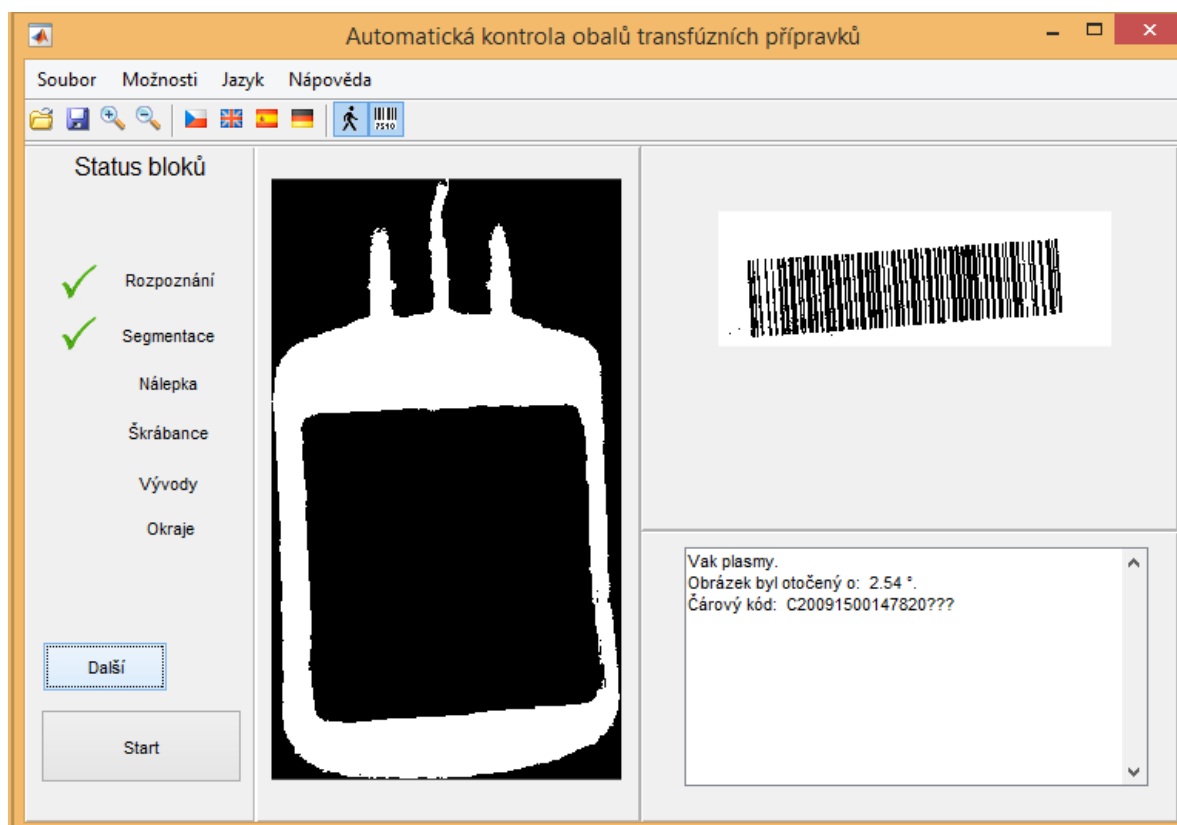
V této části programu také dochází k detekci orientace vytvořeného regionu a snaha o jeho vyrovnaní do vertikální polohy (-90°). Po srovnání všech obrazů jsou ořezány podle rozměrů detekované oblasti. Za tímto účelem je využito funkce Matlabu "regionprops", konkrétně parametry "Orientation" a "BoundingBox". Díky tomuto procesu program počítá s možností lehké rotace vaku a přizpůsobí ho pro možnost použití stejného algoritmu.



Obrázek 7.5: Segmentace etikety

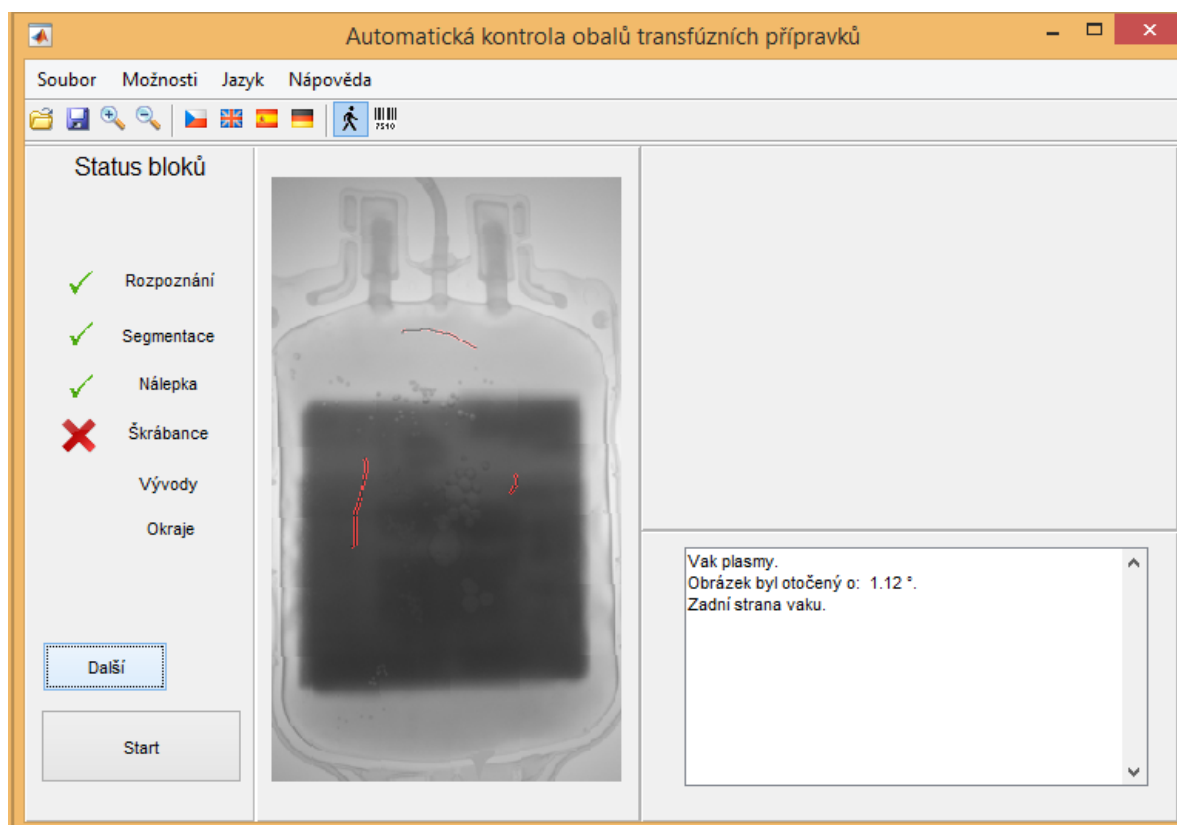
Stav nálepky je kontrolován pomocí vlastností regionu binárních obrazů – regionprops. Ze získaných údajů je možno jednoduše prokázat chybějící etiketu, či její jasně poškozenou symetrii.

Měření rozměrů se provádí převodem počtu pixelů obrazu na reálné jednotky. Za kladného výsledku stavu nálepky, lze jejího rozměru využít a tento poměr zkalibrovat na přesnější hodnotu.



Obrázek 7.6: Čtení čárových kódů

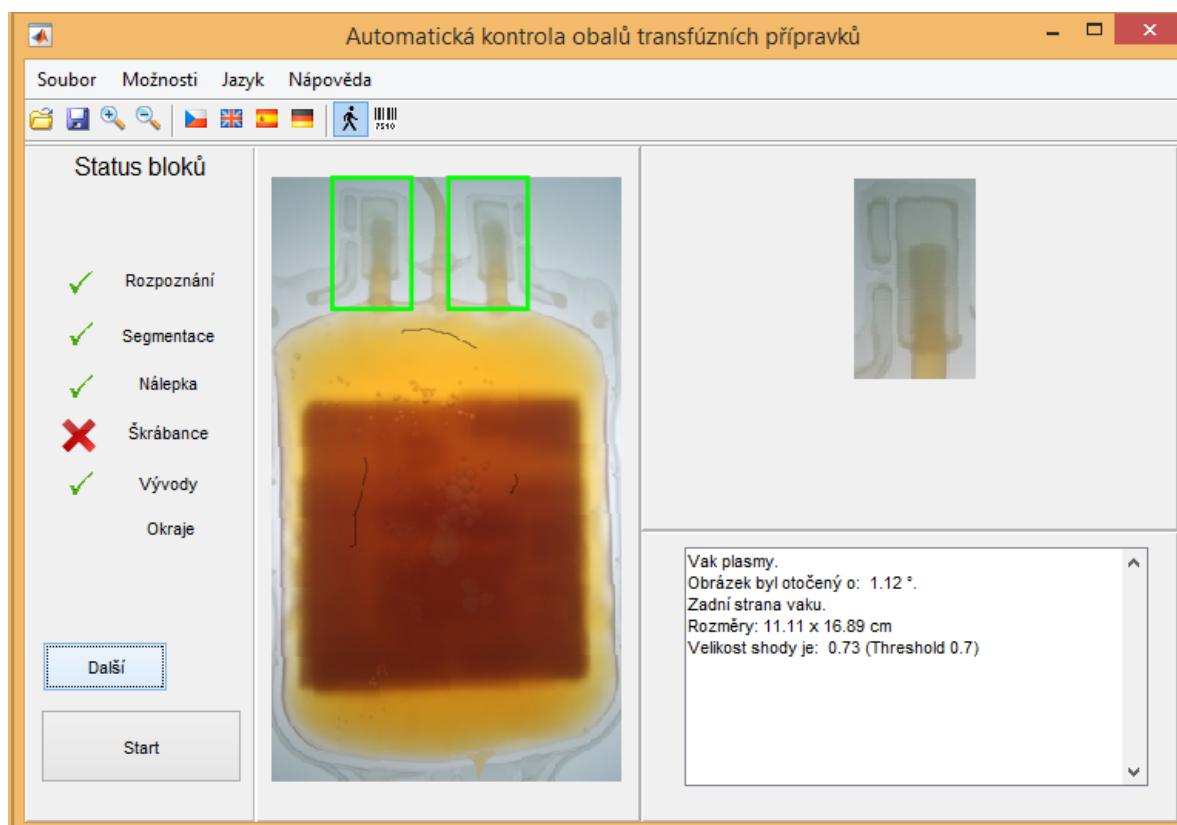
V této funkci kód kontroluje každý n-tý řádek vybrané oblasti, která již byla v předchozí části filtrována a převedena na binární obraz. Z řádku je vytvořen profil a provedena derivace. Algoritmus rozpoznává změny intenzity a velikost trvání a převádí na binární reprezentaci, kde logická 1 představuje čáru a logická 0 mezeru. Velikost trvání je realizována duplikací znaků (Mezera o tloušťce 3 = 000). Tato sekvence je průběžně porovnávána s ASCII tabulkou, představovaná funkcí "compareASCII". Realizace je provedená pouze pro variantu čárového kódu - Code 128, používaný v našich nemocnicích. Kontrolní znak není započítán.



Obrázek 7.7: Detekce šrámů v obraze

Zda-li se jedná o přední stranu vaku, či zadní, se zjišťuje za pomoci sdíleného prvního kroku u rozpoznání škrábanců. Využívá se detekce hran v prostoru etikety. Zadní strana vaku by obecně měla mít víceméně uniformní povrch a liší se od přední strany velkým množstvím zjištěných hran. Je zde možný výskyt počtu bublin, proto se zavádí vhodná prahová hodnota.

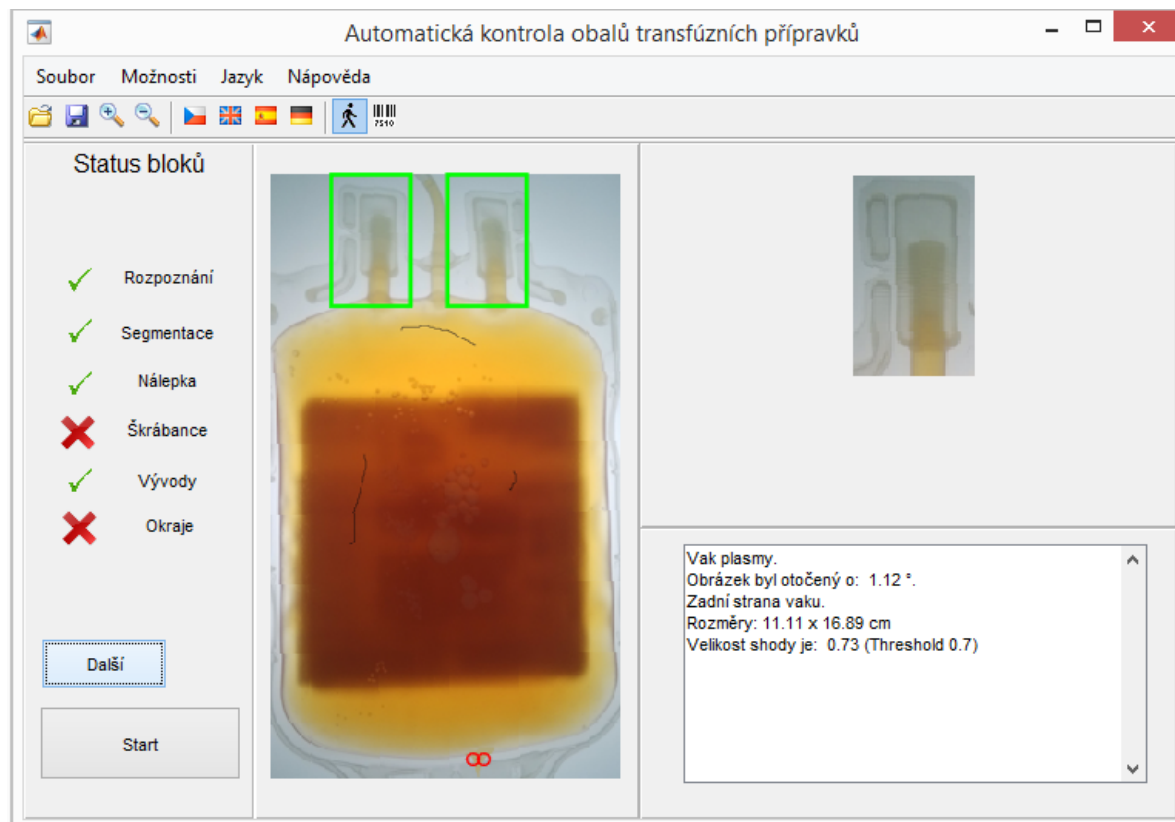
Blok detekování šrámů a poškození v obraze využívá předchozího principu detekce hran. K tomu se používá segmentované oblasti tekutiny a v případě zadní strany vaku také oblast etikety. Program dokáže rozpoznat šrámy o minimální šířce 3 px. Veškeré detekované nepřesnosti a náhlé změny v intenzitě jsou na výsledném obraze vyznačeny červenou barvou, jak lze vidět na obr. 7.7 a 7.9.



Obrázek 7.8: Kontrovaní vývodů

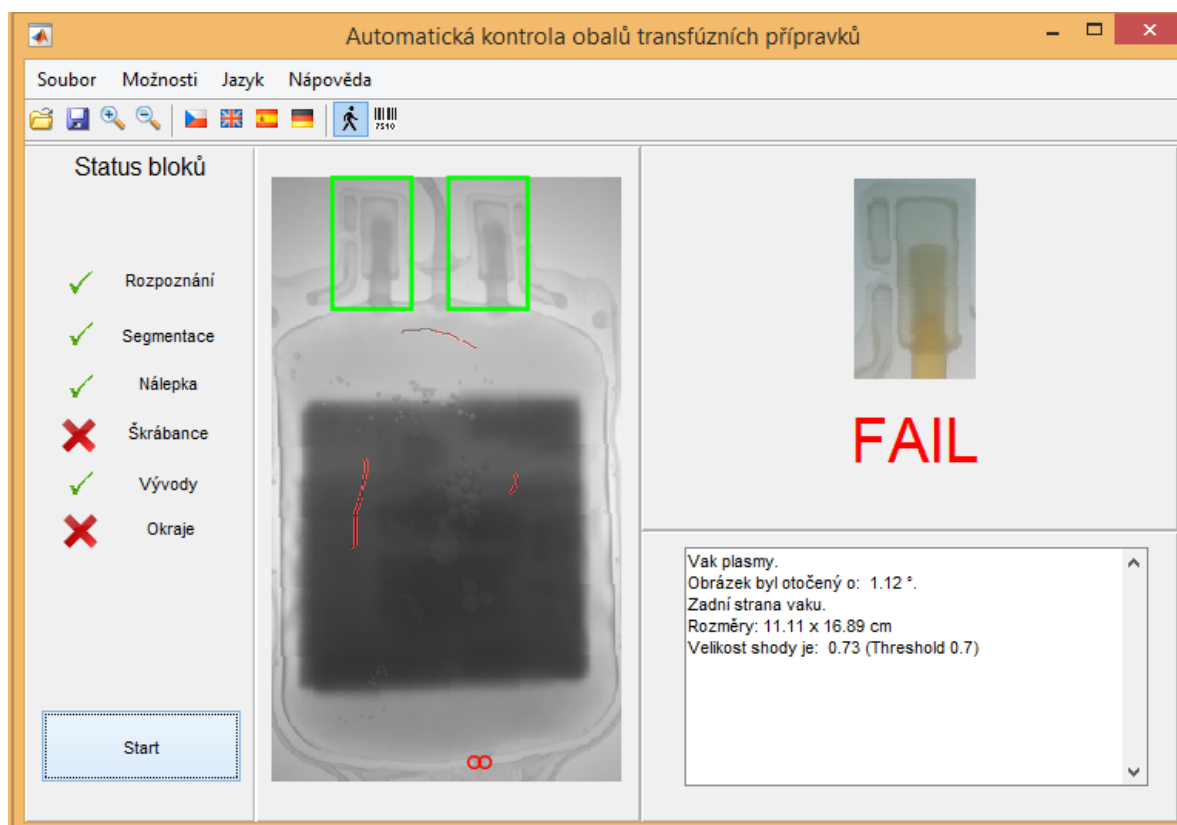
Na základě porovnání identifikujících znaků vaku a již zjištěného typu transfúzní tekutiny se identifikuje přesný druh vaku a zajistí se přístup do jeho databáze. Platí zde podobný princip jako u změny jazyka. Součástí tohoto typu databáze jsou přibližné rozměry daného vaku, počet extra vývodů vaku, lokaci referenčního obrazu pro vývody a nakonec umístění uložené proměnné, obsahující referenční okraj.

Blok kontrolování vývodů pro svou funkci využívá korelace obrazu. Porovnává načtený obraz se vzorovým, získaným z databáze rozpoznaného vaku. Je zvolena určitá prahová hodnota, nad kterou se podobnost těchto dvou obrázků musí dostat. Při splnění podmínky se algoritmus opakuje tolikrát, kolik je v databázi udáno (Počet očekávaných vývodů).



Obrázek 7.9: Porovnání okrajů

V tomto bloku se do proměnné vykreslí obrys vaku, který se následně porovnává s referenčním obrysem, získaným z příslušné databáze skupiny vaků, do které patří. Následně se tyto dvě proměnné porovnají a na základě vypočtené vzdálenosti mezi jednotlivými body se z nich dá určit, v kterých pozicích jsou nejvíce oddálené. Pokud tyto pozice překročí určitou nastavenou mez, zachází se s těmito body jako chybnými.



Obrázek 7.10: Konečný výstup

Poslední krok shrnuje všechny zjištěné parametry o vaku. Výstupní obraz je zobrazen ve stupních šedi pro zřetelnější zobrazení chybných bodů a na něj vykresleny zelenou barvou nalezené oblasti pomocí korelace obrazu (viz obr. 7.8) a červenými body znázorněna přílišná odlišnost referenčního okraje zjištěného vaku a vaku, který se porovnává. Při splnění všech podmínek je výstup kladný, graficky představen jako zelený text "PASS", v případě špatného výstupu kteréhokoliv z jednotlivých bloků je indikací finálního stavu rudý text s textem "FAIL".

Snímač použitého fotoaparátu snímá v rozlišení 2368 x 4208 pixelů. Přepočtem se tyto uvedené rozměry obrázku rovnají zhruba 10 Mpx. Hodnota, která se velmi liší od udávaných parametrů snímače, prezentovaných v tabulce 6.2. Důvodem je rozdíl v poměru stran fotografie. V této úloze byla snaha snímat transfúzní vaky v poměru 16:9. V případě focení plným rozlišením, v poměru stran 4:3 se dostáváme na rozlišení 4000 x 3000 pixelů (cca 12 Mpx).

8. Vyhodnocení výsledků

Jednotlivé faktory ovlivňující stav rozpoznání celistvosti vaků, a změny parametrů vstupního obrazu byly simulovány za pomoci grafických editorů GIMP a Microsoft Paint, jelikož se ceny za odběrové sady vaků pohybují v řádu stovek až tisících korun.

Tabulka 8.1: Změna rozměrů vkládaného obrazu

Obrázek	Změna rozměru	Výstup	Důvod neúspěchu	Očekávaný výsledek
Res100	100 %	PASS		ANO
Res80	80 %	PASS		ANO
Res60	60 %	PASS		ANO
Res50	50 %	PASS		ANO
Res45	45 %	PASS		ANO
Res35	35 %	PASS		ANO
Res30	30 %	PASS		ANO
Res25	25 %	PASS		ANO
Res20	20 %	PASS		ANO
Res17	17 %	PASS		ANO
Res16	16 %	PASS		ANO
Res15	15 %	FAIL	Šrámy	NE
Res10	10 %	FAIL	Šrámy	NE
Res5	5 %	FAIL	Šrámy, Vývody, Okraje	NE

Pro daný algoritmus se vkládaný obraz zmenšuje na hodnotu 308 x 548, z původního snímku o rozměrech 2368 x 4208, což představuje poměr cca 7,68. Z tabulky 8.1 lze vidět, že program pro správnou funkci vyžaduje více než 15 % velikosti původního obrazu. Po převodu na pixely tato hodnota vyjde na 356 x 632. Z důvodu šetření místa na disku se většina následujících testovaných obrázků zmenšila na 30 % stávající velikosti.

Tabulka 8.2: Rotace vkládaného obrazu

Obrázek	Stupeň otočení	Výstup	Očekávaný výsledek
Rot1	1 °	PASS	ANO
Rot2	2°	PASS	ANO
Rot3.5	3,5°	PASS	ANO
Rot5	5°	PASS	ANO
Rot7	7°	PASS	ANO
Rot8	8°	PASS	ANO
Rot10	10°	PASS	ANO
Rot12	12°	PASS	ANO
Rot90	90°	PASS	ANO

Rotace vstupního obrazu vaku byla simulována ve freeware bitmapovém grafickém edi-

toru GIMP. Tato demonstrace slouží jako doplněk znázornění funkce bloku programu pro zpracování obrazu na obr. 7.4. Byla vyzkoušena rotace v maximálním stupni 12°, hodnotě představující maximální otočení vaku ve vertikálním snímání, kde jsou současně zobrazeny všechny důležité části.

Tabulka 8.3: Čtení čárového kódu

Číslo pokusu	Čtený kód	Procento úspěšnosti
1	C2009150014?820	93,34 %
2	C200915?0147820B	86,67 %
3	C20091500147820B	93,33 %
4	C2009?5001????	60 %
5	C200915001478??	86,67 %
6	C20091500147820	100 %
7	C2009150014??20B	80 %
8	C2009150014?820	93,34 %
9	C2009150014?820	93,34 %
10	C2009150014?820	93,34 %
11	C20091500147820B	93,34 %
12	C200915001478??	86,67 %
13	C20091500147820	100 %
14	C200915001???20	80 %
15	C20091500147820	100 %

Z tabulky 8.3 vyplývá procento úspěšnosti rozpoznání znaku ve čteném čárovém kódu 89,34 %. ASCII reprezentace tohoto kódu je C20091500147820. Měření proběhlo na obr. "Barcode.jpg", dostupné v příloze.

Tabulka 8.4: Simulace chyb ve snímaných vacích

Obrázek	Simulované chyby	Výsledek	Očekávaný výsledek
Leak0	Žádné	PASS	ANO
Leak0_2	Žádné	PASS	ANO
Leak0_3	Žádné	PASS	ANO
Leak1	1L	FAIL	ANO
Leak1_Scratch	1L + Šrámy	FAIL	ANO
Leak1_Rot7	1L + 7°R	FAIL	ANO
Leak2	2L	FAIL	ANO
Leak2_2	2L	FAIL	ANO
Leak3	3	FAIL	ANO
Leak3_Rot7_Res50	3L + 7°R + Res 50 %	FAIL	ANO
Leak3_Rot7_Res30	3L + 7°R + 30 %	FAIL	ANO
Leak3_Rot12_Res30	3L + 12°R + 30 %	FAIL	ANO
Bright10	Zvýšení jasu (10)	PASS	ANO
Bright20	Zvýšení jasu (20)	FAIL	NE
Contrast10	Zvýšení kontrastu (10)	PASS	ANO
Contrast20	Zvýšení kontrastu (20)	PASS	ANO
Scratch1	Šrámy	FAIL	ANO
Torn1	Nesymetrická etiketa	FAIL	ANO
Torn2	Nesymetrická etiketa	FAIL	ANO
Torn3	Nesymetrická etiketa	FAIL	ANO
NoLabel	Chybějící etiketa	FAIL	ANO

Pro zkrácení byly v tabulce použity znaky "L" pro označení simulace chyby v podobě úniku tekutiny do svaru a jeho počtu, "Res" pro označení změny rozlišení na určité procento rozměru originálního obrazu a "R" pro označení stupně rotace obrazu. Je zde také provedena simulace stavu nálepky, buď plně chybějící nebo s poškozenou symetrií.

9. Závěr

Analýza obrazu a strojové vidění je velmi důležitý nástroj v procesu automatizace a revoluce průmyslu, který se samozřejmě dá využít i ve zdravotnictví. Úloha zjištění integrity obalů transfúzních přípravků za pomoci analýzy obrazu se však neprokázala jako příliš efektivní. Poddajný plastový obal vaků má téměř vždy jedinečný tvar a proto je jejich porovnání s referenčním modelem těžší. Strojové vidění má v tomto ohledu význam. Jednodušší operace jako například rozpoznání hemolytické krevní plasmy nebo kontrola údajů na etiketě a její automatické porovnání s databázovým systémem, kde je daný standard rozmístění údajů, mohou s velkým procentem úspěšnosti šetřit čas zdravotnickým pracovníkům.

V teoretické části byla popsána základní anatomie krve, v další kapitole se nachází rozbor vaků transfúzních přípravků s požadavky na materiál, výhody jeho použití a výrobní proces s technologií vysokofrekvenčního svařování, podmínky skladování a jejich značení krevním centrem. V další části se vyskytují informace o barevných modelech, obecně základní algoritmy, používané ve strojovém vidění, detekce hran a metoda segmentace obrazu - prahování. Následující kapitola se zabývá možnostmi snímání vaků. Jsou zde popsány optické snímače se senzory technologie CMOS a CCD, jejich výhody a nevýhody. Z požadavků na získané informace bylo usouzeno, že použití CMOS snímače bude pro detekci chybových stavů nejlepší.

Praktická část zahrnuje výrobu přípravku pro dostatečné osvětlení snímaného vaku. Je zde řešena otázka regulace jasu a vhodnost použité metody. Je vysvětlen rozdíl mezi zvažovanými snímači a důvod použití.

Pro jednoduchou práci s vytvořeným programem bylo vytvořeno grafické uživatelské prostředí s velkým důrazem na jednoduchost provozu uživatelem. Všechny důležité prvky jsou dostupné z panelu nástrojů, klasického menu a možnosti vložení obrázku jsou k dispozici i z kontextového menu. Prostředí je zde také možno přeložit do češtiny, angličtiny, španělštiny a němčiny.

Program je rozdělen na jednotlivé bloky se samostatnými výstupy. Jejich funkce je popsána za obrazového doprovodu. Pro lepší pochopení chodu programu je zde přítomen mód Krok za krokem, který kód pozastaví po každé části a vyčkává na pokyn uživatele, realizovaný tlačítkem "Next". Pro testovaný experimentální blok čtení čárových kódů Code 128 bylo jeho procento úspěšnosti v jednotlivých pokusech 89,34 %.

Navržený algoritmus byl testován za pomoci grafické simulace poruch celistvosti, rotací vaku v obraze, výskytem prasklin, změnou rozlišení a světelných podmínek, představovanými rozdílným nastavením jasu a kontrastu. Program těmto simulovaným podmínkám odolal. Časově, celý běh programu trvá většinou kolem 5 s. Tuto práci je možné zlepšit rozšířením databázi jednotlivých vaků, zajištěním konzistentnějšího osvětlení a propojení již existujících řešení kontrolování barvy vaků plasmy od Ing. Rajmanové a čtení čárových kódů Bc. Havránka.

Literatura

- [1] Case Study: Materials for Blood Bags [online]. Dostupné z: <http://www.materials.ac.uk/resources/casestudies/bloodbags.pdf>, [cit. 2015-02-15].
- [2] Poučení pro nové dárce krve [online]. Dostupné z: https://www.fnplzen.cz/pracoviste/to/pouceni_novy.pdf, [cit. 2015-03-19].
- [3] Transfúze [online]. Dostupné z: http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kos/modules/low/kurz_text.php?id_kap=16&kod_kurzu=kos_392/, [cit. 2015-04-15].
- [4] Podmínky darování krve [online]. Dostupné z: <http://www.zdravi-zivot.eu/index.php?podminky-darovani-krve/>, [cit. 2015-04-25].
- [5] Blood centrifugation scheme [online]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blood-centrifugation-scheme.png>, [cit. 2015-05-04].
- [6] HSV color model [online]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_cone.png, [cit. 2015-05-04].
- [7] PVC Blood bags [online]. Dostupné z: <http://www.dsir.gov.in/reports/ExpTechTNKL/Absnew/INNVOL.htm>, [cit. 2015-05-04].
- [8] RGB color model [online]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/AdditiveColor.svg>, [cit. 2015-05-04].
- [9] Perspektivy vysokofrekvenčního svařování [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/perspektivy-vysokofrekvencniho-svarovani-termoplastu.html>, [cit. 2015-05-05].
- [10] Vysokofrekvenční svařování [online]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplakovetechnologie/40-vysokofrekvencnisvarovani.jpg, [cit. 2015-05-05].
- [11] CCD and CMOS sensor technology [online]. Dostupné z: http://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf, [cit. 2015-05-06].
- [12] Health Encyclopedia [online]. Dostupné z: <http://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content.aspx?ContentTypeID=160&ContentID=37>, [cit. 2015-05-06].

- [13] Profilové snímače - optický detektor rozměrů a ploch [online]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/profilove-snimace-opticky-detektor-rozmeru-a-ploch>, [cit. 2015-05-06].
- [14] Berns, R.; Billmeyer, F.; Saltzman, M.: *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*. Wiley-Interscience publication, Wiley, 2000, ISBN 9780471194590.
URL https://books.google.cz/books?id=Ss_vAAAAMAAJ
- [15] Dahlman, E.; Oestges, C.; Bovik, A.; aj.: *Communications Engineering Desk Reference*. Elsevier Science, 2009, ISBN 9780123746498.
URL <https://books.google.cz/books?id=EeDZ4CeM3EAC>
- [16] Dobrý, E.: Pokroky v konzervaci krve. 1973. Transfuze, VI, p. 105-111.
- [17] Fraser, B.; Murphy, C.; Bunting, F.; aj.: *Real world color management : industrial-strength production techniques*. DTP & grafika, Computer Press, 2003, ISBN 9788072269433.
URL <https://books.google.cz/books?id=XrbrAAAACAAJ>
- [18] Gonzalez, R.; Woods, R.: *Digital Image Processing*. International Edition, Prentice Hall, 2002, ISBN 9780201180756.
URL <https://books.google.cz/books?id=738oAQAAAMAAJ>
- [19] Gonzalez, R.; Woods, R.; Eddins, S.: *Digital Image Processing Using MATLAB*. Pearson Education, 2004, ISBN 9788177588989.
URL <http://books.google.cz/books?id=5YEMp6HjvnQC>
- [20] Gonzalez, R. C.; Woods, R. E.; Eddins, S. L.: *Digital image processing using MATLAB®*. Gatesmark Publishing, 2009, ISBN 978-0-9820854-0-0.
URL <http://opac.inria.fr/record=b1128698>
- [21] Jähne, B.; Haussecker, H.; Geissler, P.: *Handbook of Computer Vision and Applications: Sensors and imaging*. Handbook of Computer Vision and Applications, Academic Press, 1999, ISBN 9780123797704.
URL <https://books.google.cz/books?id=CuxRAAAAMAAJ>
- [22] Jain, R.; Kasturi, R.; Schunck, B.: *Machine Vision*. Computer Science Series, McGraw-Hill, 1995, ISBN 9780070320185.
URL <http://books.google.cz/books?id=5rucQgAACAAJ>
- [23] Lelkens, C. C. M.; Noorman, F.; Koning, J. G.; aj.: Stability after thawing of RBCs frozen with the high- and low-glycerol method. Feb 2003, doi:10.1046/j.1537-2995.2003.00293.x.
- [24] Mokáň, M.: *Vnútorné lekárstvo*. sv. 3, Univerzita Komenského, 2005, ISBN 9788022318952.
URL <http://books.google.cz/books?id=0hF0AAAAACAAJ>

A. Seznam příloh

K bakalářské práci je přiloženo CD s touto adresářovou strukturou:

- `application`
 - zdrojové kódy MATLAB programu
 - `figures` - testované obrázky transfuzních vaků
 - `language` - definované třídy, sloužící pro změnu jazyka GUI
- `pdf`
 - pdf soubor s textem bakalářské práce